



TEKNIikka JA LIIKENNE

Rakennustekniikka

Rakennetekniikka

INSINÖÖRITYÖ

ASUINKERROSTALON KORJATTAVAN SEINÄRAKENTEEN RAKENNUSFYSIKAALINEN SELVITYS

Työn tekijä: Sami Kallio
Työn ohjaaja: Hannu Hakkarainen
Työn ohjaaja: Tapio Kilpeläinen
Työn ohjaaja: Magnus Stagnäs

Työ hyväksytty: ____ . ____ . 2010

Hannu Hakkarainen
Yliopettaja



ALKULAUSE

Tämä insinöörityö tehtiin ThermiSol Oy:lle Finnmap Consulting Oy:n avustuksella. Haluan kiittää projektissa mukana olleita työn ohjaajia: yliopettaja Hannu Hakkarasta Metropolia ammattikorkeakoulusta, tutkimus- ja kehityspäällikkö Tapio Kilpeläistä ThermiSol Oy:stä sekä DI Magnus Stagnäsiä Finnmap Consulting Oy:stä. Kiitos myös muille työn tekemisessä auttaneille, jotka mahdollistivat työn saamisen valmiiksi.

Helsingissä 29.4.2010

Sami Kallio

TIIVISTELMÄ

Työn tekijä: Sami Kallio	
Työn nimi: Asuinkerrostalon korjattavan seinärakenteen rakennusfysikaalinen selvitys	
Päivämäärä: 29.4.2010	Sivumäärä: 63 s. + 6 liitettä
Koulutusohjelma: Rakennustekniikka	Suuntautumisvaihtoehto: Rakennetekniikka
Työn ohjaaja: Yliopettaja Hannu Hakkarainen, Metropolia ammattikorkeakoulu Työn ohjaajat: Tapio Kilpeläinen, ThermiSol Oy, Tutkimus- ja kehityspäällikkö Magnus Stagnäs, Finnmap Consulting Oy, DI	
<p>Tämä insinööritoimi tehtiin ThermiSol Oy:lle Finnmap Consulting Oy:n avustuksella. Työssä tutkitaan 1970-luvulla rakennetun asuinkerrostalon julkisivukorjauksen yhteydessä uusittavan lämmöneristystyksen vaikutusta rakenteiden liittymäkohtien toimintaan. Työn tavoitteena on saavuttaa rakennusfysikaalinen varmuus rakenteiden toiminnassa, kun käytetään vanhojen lämmöneristeiden paksuisia uusia lämmöneristeitä tai vuoden 2010 alusta voimaan astuneiden lämmöneristysmääräysten mukaisia paksuuksia. Tavoitteena on suunnitella rakenteiden liittymäkohtien periaatedetaljit ja mallintaa näistä lämpötilajakaumat ja lämpövirrat. Lisäksi tavoitteena on laskea rakennetyypeille U-arvot.</p> <p>Työ toteutettiin perehtymällä aluksi aiheeseen, jonka jälkeen suunniteltiin tarvittavat rakennetyypit erilaisilla lämmöneristysvaihtoehtoilla korjauskohteen rakenteista. Tämän jälkeen suunniteltiin periaatedetaljit rakenteiden liittymäkohdista, joiden perusteella voitiin mallintaa tietokoneohjelmistoa hyödyntäen rakenteiden liittymäkohtien lämpötilajakaumat ja liittymäkohtien lävitse menevät lämpövirrat. Näiden perusteella voitiin tehdä johtopäätöksiä rakenteiden rakennusfysikaalisesta toiminnasta.</p> <p>Työn tuloksena saatiin kolmesta erilaista rakennetyyppiä, joissa oli eri lämmöneristevaihtoehtoina Platinasta, EPS:stä tai PIR:istä valmistetut lämmöneristeet. Rakennetyypin pohjalta suunniteltiin kahdeksan erilaista periaatedetaljia. Suunnitelluista periaatedetaljeista kaksi oli ikkunan liitoksesta seinärakenteeseen, kolme seinän ja yläpohjan liitoksesta sekä kolme alimman kerroksen seinärakenteen liittymisestä ylempään kerrokseen, kun ylemmässä kerroksessa on ohutrappaus ja alemmassa kerroksessa betoninen kuorielementti. Periaatedetaljeista mallinnettiin rakenteiden lämpötilajakaumat ja lämpövirrat. Lisäksi periaatedetaljien perusteella tehtiin seinärakenteesta leikkauspiirustus.</p> <p>Työn tulosten perusteella suunnitelluissa rakenteiden liittymäkohdissa ei havaittu rakennusfysikaalisen toiminnan kannalta riskejä, kun korjattavat rakenteet toteutetaan huolellisesti aiheuttamatta rakennusfysikaalisen toiminnan kannalta turhia epätiiveyskohtia. Lisäksi työn tuloksena saatiin selville mallinnettujen periaatedetaljien kylmimmät kohdat, joiden huolelliseen toteuttamiseen on syytä panostaa.</p>	
Avainsanat: lämpö, rakennusfysiikka, EPS, PIR, lämmöneriste	

ABSTRACT

Name: Sami Kallio	
Title: Survey on Building Physics in External Wall Renovation of Apartment Building	
Date: 29 April 2010	Number of pages: 63 pp. + 6 appendices
Department: Civil Engineering	Study Programme: Structural Engineering
Supervisor: Hannu Hakkarainen, Principal Lecturer, Helsinki Metropolia University of Applied Sciences Instructor: Tapio Kilpeläinen, ThermiSol Oy, R&D Manager Magnus Stagnäs, Finnmap Consulting Oy, M.Sc.	
<p>This graduate study was done for ThermiSol Oy with the help of Finnmap Consulting Oy. In this graduate study, I investigated renewable thermal insulation effect in structure joints in a block of flats that was built in the 1970s. The aim of this graduate study was to advance building physical reliability in the functionality of structures when the renewable thermal insulation is as thick as the old insulation or in compliance with the thermal insulation regulations effective since the beginning of 2010. The aim was to design structural joint details and create a model of their temperature distributions and heat fluxes. In this graduate study U-values were also calculated for structural types.</p> <p>This graduate study was executed by familiarizing with the subject and after that the needed structural types of renovation target were designed with different thermal insulation alternatives. After that the principle details of structural joints were designed, based on which computer models were created and temperature distributions and heat fluxes at the joints of structures were obtained. Thus conclusions could be drawn about the physical behaviour of structures.</p> <p>As a result of this graduate study, thirteen different structural types were defined which had different thermal insulation alternatives materials made of Platina, EPS and PIR. On the basis of the structural types, eight different principle details were designed. The first two of these details were made for window and wall connection, of the next three were made for of wall to roof joint and the last three for lower to upper floor joint when the upper wall is made of thin rendering and the lower floor has a concrete cover element. Based on the principle details, models were made of the structural temperature distributions and heat fluxes. With the help of the principle details, a cutaway drawing was made about the wall.</p> <p>Based on the results of this graduate study, no building physical risks were noticed in the designed structures when the renewable structures are made carefully and without making unnecessary non-compactness spots which affect the physical functionality of structures. The coldest spots in the principle details were also determined, which should be executed with care.</p>	
Keywords: temperature, building physics, EPS, PIR, thermal insulation	

SISÄLLYS

ALKULAUSE

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	1
2	RAKENNUSFYSIKAALISET TEKIJÄT	3
2.1	Lämpö	3
2.1.1	<i>Lämmön siirtymistavat</i>	3
2.1.2	<i>Kylmäsilta</i>	4
2.1.3	<i>Lämmönjohtavuus</i>	4
2.1.4	<i>Lämmönvastus</i>	5
2.1.5	<i>Lämpövirta</i>	5
2.1.6	<i>Lämmönläpäisykerroin</i>	5
2.1.7	<i>Lämmöneristeet</i>	7
2.2	Kosteus	10
2.2.1	<i>Kosteuslähteet</i>	10
2.2.2	<i>Ilman kosteus</i>	11
2.2.3	<i>Aineen kosteus</i>	12
2.2.4	<i>Rakennekosteus</i>	12
2.2.5	<i>Kosteudesta aiheutuvat haitat</i>	12
2.3	Rakennuksen ilmanpaineet ja ilmavirtaukset	13
2.3.1	<i>Konvektio</i>	13
2.3.2	<i>Ilmanpaine ja kosteus</i>	15
3	KORJAUSKOHDE	15
3.1	Korjauskohteen perustiedot	15
3.2	Korjauskohteen vanhat rakennetyypit	17
3.2.1	<i>Pitkät julkisivut</i>	17
3.2.2	<i>Alin kerros</i>	18
3.2.3	<i>Päädyt</i>	19
4	TUTKIMUKSEN SUORITUS JA TULOKSET	20
4.1	Uudet rakennetyypit	20
4.1.1	<i>Pitkät julkisivut US1</i>	21
4.1.2	<i>Alin kerros US2</i>	24
4.1.3	<i>Päädyt US3</i>	30
4.2	Tutkittavat detaljit uusilla rakennetyypeillä	34
4.2.1	<i>Ikkunaliittymä</i>	35
4.2.2	<i>Yläpohjaliittymä</i>	46

4.2.3	<i>Seinän alaosan ja yläosan liitos (ohutrappaus)</i>	55
4.3	Paloturvallisuus	60
5	LEIKKAUS PITKÄN JULKISIVUN SEINÄRAKENTEESTA	60
6	YHTEENVETO	60
	VIITELUETTELO	63
	LIITTEET	

Liite 1: Ikkunaliitoksen periaatedetaljit, kun lämmöneristyspaksuus on 135 mm tai 180 mm.

Liite 2: Yläpohjaliittymän periaatedetaljit, vanha rakenne, lämmöneristepaksuuksilla 135 mm ja 180 mm sekä vaihtoehto palomääräysten vaatimusten mukaisesti.

Liite 3: Seinän alaosan liitos erilaisilla lämmöneristepaksuuksilla ylä- ja alaosassa.

Liite 4: Leikkaus seinärakenteesta.

Liite 5: Lämpötilajakaumien ja lämpövirtojen väriasteikot.

Liite 6: Syöksytorven kiinnitysdetalji.

1 JOHDANTO

Tämä insinöörityö tehdään ThermiSol Oy:lle Finnmap Consulting Oy:n avustuksella. ThermiSol Oy valmistaa ja myy erilaisia rakennuseristeitä rakentamisen ja teollisuuden tarpeisiin. Yrityksen valikoimassa on rakennuseristeitä rakennusten perustuksista aina kattoon asti sekä erikoiskohteisiin soveltuvia eristeitä. Finnmap Consulting Oy on rakennetekniikkaan kokonaisvaltaisesti erikoistunut suunnittelu- ja konsultointiyritys. Suunnittelutoiminta kohdistuu sekä uudis- että korjausrakentamiseen, kattaen toimisto- ja liikerakennusten, asuinrakennusten, liikerakennusten, teollisuuslaitosten, voimaloiden, monitoimihallien, pysäköintilaitosten sekä siltojen suunnittelun.

Suomessa on huomattava määrä 1960- ja 1970-luvuilla rakennettuja asuin- kerrostaloja, joihin on tulossa jonkinlainen korjaustoimenpide lähiaikoina. Korjaustoimenpide voi olla esimerkiksi rakennuksen putkistojen uusiminen, ikkunoiden uusiminen, katteen uusiminen tai julkisivukorjaus, jonka korjaustoimenpiteisiin annetaan tässä insinöörityössä vaihtoehtoja.

Korjaustoimenpiteet ovat näiden aikakausien rakennuksissa ajankohtaisia, koska rakennuksissa käytetyt materiaalit ovat saavuttaneet teknisten käyttöikien loppupään. Tällöin rakenteille täytyy suorittaa korjaustoimenpiteitä.

Julkisivuissa on 1960- ja 1970-luvuilla käytetty suhteellisen uutta elementtirakennustekniikkaa, josta ei ole ollut aikaisemmin kokemusta. Elementeissä käytetyssä betonissa on havaittu jälkeinpäin monia puutteita säilyvyyden suhteen, esimerkiksi betonin pakkasenkestävyys ei ole ollut riittävä, jonka seurauksena julkisivuissa käytetyt betoniset ulkokuoret ovat saattaneet pakkasrapautua huomattavankin nopeasti.

Pakkasrapautumista on tosin ehkäissyt elementtien valmistuksessa käytetyt pehmeähköt mineraalivillat, jolloin lämmöneristeenä käytetty mineraalivilla on painunut kasaan ja tällöin rakenteen lävitse on päässyt enemmän lämpöä sisältä, joka on pitänyt rakenteen riittävän lämpimänä estäen samalla pakkasrapautumisen vaikutuksen.

Elementtien betoniset ulkokuoret ovat aiemmin lisäksi olleet ohuempia kuin nykyään toteutettavissa rakenteissa. Elementeissä käytetty raudoitus onkin voinut olla hyvinkin lähellä betonin pintaa tai jopa näkyvissä, jolloin betonin

emäksisyyden suojaava vaikutus ei pysty suojaamaan raudoitusta kovinkaan kauan ruostumiselta karbonatisoitumisen edetessä. Ruostumisen alkamisen jälkeen raudoituksesta muodostuu ruostumistuotteita, joiden tilavuus on suurempi kuin ehjän ruostumattoman raudoituksen. Tästä johtuen betoni saattaa lohjeta raudoituksen kohdalta.

Julkisivujen korjauksen yhteydessä uusittavalla lämmöneristyksellä voidaan varmistaa rakenteiden todelliset lämmöneristyspaksuudet, koska niihin ei kohdistu kasaanpainavia voimia. Tästä johtuen rakenteiden toiminnasta voidaan tehdä melko luotettavia tutkimuksia. Tehtyjä tutkimuksia voidaan täydentää erilaisissa kohteissa tehdyillä todellisilla mittauksilla. Erillisten mittausten tekeminen on kuitenkin huomattavan paljon aikaa vaativaa, koska mittausten tulee olla pitkältä aikaväliltä, jotta tulokset ovat luotettavia.

Erillisten mittausten hankalahkosta toteutettavuudesta johtuen rakenteiden toiminnasta halutaan selvyys. Samalla saadaan vuoden 2010 alusta voimaan astuneiden uudistuneiden lämmöneristysmääräysten mukaiset rakenteiden liittymäkohtien detaljit, joita ei ole aikaisemmin suunniteltu insinöörityön tilaajan toimesta.

Rakenteiden toiminnasta voidaan tehdä erilaisia malleja, joita tarkastelemalla voidaan varmistaa rakenteiden rakennusfysikaalinen toiminta erilaisissa olosuhteissa.

Tämän insinöörityön tavoitteena onkin laatia rakenteiden toiminnasta malleja, joilla voidaan varmistaa rakenteiden toiminta. Ennen mallien luomista tarvitsee kuitenkin suunnitella julkisivukorjauksen yhteydessä parannettavan lämmöneristyksen vaikutus rakenteiden liittymäkohtiin, joiden toteuttamiskelpoinen suunnittelu on myös insinöörityön tavoitteena. Ja ennen rakenteiden liittymäkohtien suunnittelua tarvitsee muodostaa erilaisia rakennetyyppejä, joiden pohjalta rakenteiden liittymäkohdat voidaan suunnitella.

Rakennetyyppien suunnittelussa käytetään Platinasta, EPS:stä ja PIR:istä valmistettuja lämmöneristeitä, jolloin rakennetyypeille saadaan toisistaan eroavia lämmönläpäisykertoimia ja näiden perusteella voidaan valita energiataloudellisin tapa toteuttaa korjattava seinärakenne. Platinalla ei tarkoiteta tässä yhteydessä jalometallia vaan lämmöneristeryhmää, jonka valmistuksen yhteydessä on käytetty yhtenä osa-aineena grafiittia.

Rakenteiden mallien luomisessa käytetään apuna rakennusfysikaalista toimintaa varten kehitettyä tietokoneohjelmistoa, jolla saadaan muodostettua rakenteista lämpövirrat ja lämpötilajakaumat. Rakenteiden liitoskohtien suunnittelussa käytetään apuna liitoskohdista mahdollisesti aikaisemmin tehtyjä suunnitteluratkaisuja.

Tässä insinööriyössä tutkittavat liitosrakenteet ovat ikkunan liittyminen seinärakenteeseen, seinän ja yläpohjan liittymä sekä alimman elementtikerroksen liittyminen ylempään kerrokseen, kun ylemmässä kerroksessa on ohutrapaus ja alimmassa kerroksessa betoninen ulkokuori.

Erilaisten rakennetyyppien rakennusfysikaalisesta käyttäytymisestä on aikaisempia kokemuksia rakennettujen kohteiden perusteella, eikä niissä ole havaittu ongelmia. Tästä johtuen pelkkien rakennetyyppien rakennusfysikaalisesta käyttäytymisestä ei tehdä erillisiä tutkimuksia tässä insinööriyössä.

2 RAKENNUSFYSIKAALISET TEKIJÄT

Rakenteiden toimintaan ja käyttäjien hyvinvointiin vaikuttavat monet rakennusfysikaaliset tekijät. Näitä ovat rakennuksessa vallitsevat ilmanpaineet, akustiikka, lämpö, kosteus, rakenteellinen paloturvallisuus sekä ilman laatu-tekijät. Rakennuksen sisällä oleviin olosuhdetekijöihin vaikuttaa suuresti ympäröivän ilman ja sään muutokset.

Lämmöneristeiden ja ilman- tai höyrynsulun huolimattomasta asennuksesta johtuen voidaan aiheuttaa lisäksi vedon tunnetta rakennuksen sisällä. Vedon tunnetta voi muodostua myös ikkunan kylmistä pinnoista. Tässä insinööriyössä on keskitytty lähinnä rakennuksessa vaikuttavien lämpötilojen aiheuttamiin vaikutuksiin rakennuksen toiminnassa.

2.1 Lämpö

2.1.1 Lämmön siirtymistavat

Lämpö voi siirtyä kolmella eri tavalla: johtumalla (konduktio), säteilemällä (emissio) tai virtaamalla (konvektio).

Johtumisessa molekyyleillä oleva liike-energia siirtyy molekyyliltä toiselle eli lämpö johtuu eteenpäin. Johtumista tapahtuu sekä kiinteillä aineilla, että

nesteillä. Lämpö pyrkii tasoittumaan virtaamalla lämpimämmästä kylmemmän päin. /1, s.37./

Säteilemällä energiaa siirtyy sähkömagneettisen aaltoliikkeen välityksellä valon nopeudella. Kaikki kappaleet, joiden lämpötila on absoluuttisen nollapisteen yläpuolella lähettävät eli emittoivat säteilyä. Näistä mustat kappaleet emittoivat eniten lämpösäteilyä. Säteilyn osuessa johonkin pintaan, osa siitä heijastuu ja osa absorboituu kyseiseen pintaan. Lasissa säteily menee suurimmaksi osaksi läpi lyhytaaltoisena lämpösäteilyinä, muttei pitkäaaltoisena lämpösäteilyinä. /3. s.12-13./

Virtaamalla lämpö siirtyy kaasun tai nesteen virtauksen mukana. Konvektio voi olla joko luonnollista tai pakotettua. Luonnollisessa konvektiossa lämpötilaerojen tiheysero saa aikaan nesteen tai kaasun virtaamisen, jonka mukana lämpö siirtyy. Pakotetussa konvektiossa neste tai kaasu liikkuu jonkin ulkopuolisen voiman vaikutuksesta, kuten ilmanvaihdon tai tuulen aikaansaama ilman liike. /3, s.13./

2.1.2 Kylmäsilta

Kylmäsillalla tarkoitetaan rakenteessa olevan lämmöneristeen läpi menevää hyvin lämpöä johtavasta materiaalista tehtyä kohtaa, jonka kautta virtaa enemmän lämpöä ulos kuin sen ympärillä olevasta rakenteesta. Tällainen kohta voi olla lämmöneristeen läpäisevät kiinnikkeet (esimerkiksi sandwich-elementtien ansaat) tai betoni. /1, s.38./

Kylmäsillat lisäävät lämmönhukkaa ja ne saattavat aiheuttaa kosteuden tiivistymistä rakenteen sisällä tai seinämän sisäpinnassa alhaisemman pintalämmön takia sekä aiheuttaa mahdollisesti värimuutoksia rakenteiden pinnoissa. Kylmäsillat muodostavat kuitenkin vain yleensä pienen osan rakennusosan kokonaispinta-alasta. /1, s.38./

2.1.3 Lämmönjohtavuus

Lämmönjohtavuudella (λ) tarkoitetaan lämpövirtaa, joka siirtyy sekunnissa neliömetrin kokoisen ja metrin paksuisen homogeenisen ainekerroksen läpi, kun ainekerroksen pintojen välillä vallitsee yhden asteen lämpötilaero. Yksikkönä on $W/m \text{ } ^\circ C$ tai $W/m K$. /1, s.38./

Rakennusfysikaalisia laskelmia tehdessä on ennen käytetty normaalisen lämmönjohtavuuden (λ_n) arvoja, koska rakennusaineiden ja rakennustarvikkeiden lämmönjohtavuus kasvaa kosteuden lisääntyessä. Tällä pyritään siihen, että lämmönjohtavuusarvot saataisiin mahdollisimman lähelle todellisia arvoja, kun oletetaan rakennusaineiden sisältävän käyttöoloissa keskimäärin tietyn määrän kosteutta. /1, s.39./

Nykyään rakennusfysikaalisia laskelmia tehdessä käytetään ensisijaisesti rakennustarvikkeiden valmistajien ilmoittamia lämmönjohtavuuden arvoja, joiden käyttökelpoisuuden jokaisessa rakennuskohteessa suunnittelija arvioi erikseen. Tällöin suunnittelija laskee lämmönjohtavuuden suunnitteluarvot ($\lambda_{\text{design}} = \lambda_d$) niihin vaikuttavien tekijöiden perusteella valmistajien ilmoittamien arvojen pohjalta ($\lambda_{\text{Declared}} = \lambda_D$). Valmistajien ilmoittamat λ_D -arvot on määritetty EN-standardien mukaisesti.

2.1.4 Lämmönvastus

Lämmönvastuksella (m tai R) tarkoitetaan rakennusosan tai -ainekerroksen lämmönsiirtymisvastusta. Rakennusosan lämmönsiirtymisvastusta laskettaessa siihen otetaan mukaan sisä- ja ulkopuoliset pintavastukset, joilla tarkoitetaan rakennusosan ja ilmatilan välisen rajapinnan lämmönsiirtymisvastusta. Yksikkönä on $\text{m}^2\text{°C/W}$ tai $\text{m}^2\text{K/W}$. /1, s.39./

2.1.5 Lämpövirta

Lämpövirralla (q) tarkoitetaan lämmön tasoittumisnopeutta, kun esimerkiksi sisätiloissa on talvella lämpimämpää kuin ulkona, jolloin lämpö pyrkii tasoittumaan samaan lämpötilaan. Lämpövirtoja voidaan hyödyntää esimerkiksi rakennuksen lämmityslaitteiden tehon määrittämisessä, kun tunnetaan rakennuksen vaipan lävitse menevät lämpövirrat. Lämpövirran yksikkö on W/m^2 . /2, s.12-13./

2.1.6 Lämmönläpäisykerroin

Lämmönläpäisykerroin (U -arvo) ilmoittaa lämpömäärän, joka läpäisee neliömetrin suuruisen rakennusosan, lämpötilaeron ollessa yhden asteen verran. Yksikkönä on $\text{W/m}^2\text{°C}$ tai $\text{W/m}^2\text{K}$. Rakenteen U -arvo muuttuu rakenteen kosteuspiitoisuuksien muutosten johdosta, jolloin rakenteen kosteuspiitoisuuden kasvaessa rakenteen U -arvo huononee ja vastaavasti rakenteen kuivuessa rakenteen todellinen U -arvo paranee. Tämä johtuu siitä, että ra-

kenteessä oleva kosteus johtaa enemmän lämpöä kuin jos rakenne olisi kuiva.

U-arvo eli lämmönläpäisykerroin lasketaan kaavalla 1, kun rakennusosan ainekerrokset ovat tasapaksuja ja lämpö siirtyy ainekerrokseen nähden kohtisuoraan:

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (1)$$

jossa R_T on rakenteen lämmönvastusten summa, sisältäen pintavastukset (sisä- ja ulkopinnan pintavastus).

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_m + R_g + R_b + R_{q1} + R_{q2} + R_{se} \quad (2)$$

jossa R_{si} ja R_{se} = sisä- ja ulkopuolinen pintavastus, $R_1 + R_2 + \dots + R_m$ = ainekerroksen 1, 2, .. m lämmönvastus kaavan 3 mukaisesti, R_g = rakennusosassa olevan ilmakerroksen lämmönvastus, R_b = maan lämmönvastus, kun rakenteet tulevat maata vasten, R_{q1} , R_{q2} , R_{qn} = ohuen ainekerroksen 1, 2, .. n lämmönvastus

$$R_1 = \frac{d_1}{\lambda_1}, R_2 = \frac{d_2}{\lambda_2}, \dots, R_m = \frac{d_m}{\lambda_m} \quad (3)$$

jossa d_1, d_2, \dots, d_m ovat ainekerroksen 1, 2, ..m paksuuksia [m], $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$ ovat ainekerroksen 1, 2, .. m lämmönjohtavuuden arvo. /4, s. 5./

Suomen rakentamismääräyskokoelman lämmöneristysvaatimuksilla säädetään rakennusten vähimmäislämmöneristysvaatimukset. Tällä pyritään uusien rakennusten osalta energiaa säästävään rakentamiseen. Myös korjausrakentamisessa on järkevää käyttää uusien rakennusten lämmöneristysvaatimuksia, jos vanhasta rakennuksesta puretaan julkisivut niiden huonon kunnon vuoksi pois ja korvataan uusilla. Tässä vaiheessa lämmöneristysten parantaminen nykyvaatimusten tasolle ei tuota juurikaan lisäkustannuksia. Jos rakennuksen julkisivut ovat korjattavassa kunnossa, niiden purkaminen ja lisälämmöneristäminen ei useinkaan ole taloudellisesti kannattavaa toimintaa.

Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa C3 (Rakennuksen lämmöneristys, määräykset) annetaan lämpimien ja puolilämpimien rakennusten

eri osille sallitut lämmönläpäisykertoimet. Esimerkiksi seinärakenteen nykyinen lämmönläpäisykerroin on $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$, kun se ennen vuoden 2010 alusta voimaan astuneita lämmöneristysmääräyksiä oli $0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$. /4, s.5./ Lämmöneristepaksuudet seinärakenteissa ovat tästä johtuen kasvaneet.

Esimerkiksi lämmönjohtavuudeltaan $0,039 \text{ W/mK}$ olevaa lämmöneristettä tarvitaan nykyään 222 mm, kun ennen tarvittiin 156 mm. (laskennassa huomioitu vain pintavastukset ja lämmöneriste, ei muita rakenteita) Lämmöneristeen paksuutta joudutaan kasvattamaan esimerkkitapauksessa 66 mm, jotta sillä voidaan saavuttaa nykyiset lämmöneristemääräykset seinärakenteessa.

Rakentamismääräyskokoelman sallitut lämmönläpäisykertoimet voidaan ylittää esimerkiksi seinärakenteen osalta tietyin ehdoin, kun esimerkiksi ilmanvaihdon lämmönhäviötä parannetaan vastaavasti. Tällä tavalla saadaan tasattua koko rakennuksen kokonaislämpöhäviö. /4, s.5./

2.1.7 Lämmöneristeet

Lämmöneristeiden toiminta perustuu niissä olevien ilmatilojen paikallaan pysymiseen, ilman toimiessa lämmöneristäjänä ja lämmöneristeen pitäessä ilman liikkumattomana. /1, s.40/. Lämmöneristeiksi luokitellaan rakennusaineet, joita käytetään pääasiallisesti tai muun käyttötarkoituksen ohella lämmöneristämiseen. /4, s.3/. Lämmöneristeiksi luokitelluilla rakennusaineilla on alhainen lämmönjohtavuusarvo.

Mineraalivilla

Mineraalivilla valmistetaan sulasta kivi-, lasi- tai kuonamassasta kuiduttamalla villamaiseksi tuotteeksi. Kivivilla valmistetaan nimensä mukaisesti kivistä, lasivilla kalkkikivistä, soodasta ja kvartsihiekasta ja kuonavilla masuunikuonasta. /1, s.40./ Esimerkiksi seinän lämmöneristeenä käytettävän mineraalivillan lämmönjohtavuus on valmistajien ilmoituksesta riippuen $0,032 - 0,041 \text{ W/mK}$.

Polystyreenisolumuovi (EPS)

Polystyreenisolumuovista valmistetut lämmöneristeet valmistetaan paisuttamalla tai suulakepuristamalla polystyreenimuovia (*Expanded PolyStyrene*), jota on 2-5 % lämmöneristeen tilavuudesta, käyttämällä ponneaineena ympäristölle vaaratonta pentaania, joka korvautuu ilmalla valmistusprosessin

aikana. EPS:n lämmöneristävyys perustuu liikkumattomaan ilmaan, joka on suljetussa solurakenteessa. /5./

EPS:stä valmistettuja lämmöneristeitä käytetään laajasti rakennusteollisuudessa ja rakentamisessa niiden hyvän lämmöneristävyyden ja kestävyytensä ansiosta. EPS:ää voidaan käyttää esimerkiksi routasuojaukseen, maarakenteiden keventämiseen sekä lämmöneristämiseen, josta on monia eri sovelluksia, kuten seinien, kattojen ja putkien eristäminen. /5./ Seinä rakenteissa käytettävän EPS:n lämmönjohtavuus vaihtelee välillä 0,030 – 0,039 W/mK.

EPS-lämmöneristeet valmistetaan käyttökohteen mukaisilla laatuvaatimuksilla. Kaikilla eristeillä on tietyt vähimmäisvaatimukset, mutta monilla tuotteilla on lisäksi erityisvaatimuksia. Esimerkiksi seinä- ja kattoeristeiltä vaadittava eristelevyjien mittapysyvyys on eräs määräävä ominaisuus. /5./

Eristeiden mittapysyvyys varmistetaan riittävän pitkän tehdasvarastoinnin avulla tai lämpökäsittämällä eristeitä. Seinä- ja kattoeristeiltä vaadittavaa mittatarkkuutta ja mittapysyvyyttä parannetaan joko lämpökäsittämällä valmistuksen yhteydessä eristelevyjä jälkikutistuman estämiseksi tai varastoimalla eristelevyjä tehtaalla vähintään 42 vuorokautta. /5./

Kosteusteknisiltä ominaisuuksiltaan EPS-eristeet ovat kestäviä. Eristeen kostuminen on vähäistä lattia-, seinä- ja kattorakenteissa kuivissa tai lähes kuivissa olosuhteissa. Eristeen lämmöneristävyys- ja lujuusominaisuudet eivät heikkene ulkopuolisen kosteuden vaikutuksesta, eikä eriste ime kapillaarisesti vettä itseensä. /5./

Palo-ominaisuuksiltaan EPS-eristeet luokitellaan palaviksi rakennusmateriaaleiksi. Eristeen palaessa täydellisesti siitä muodostuu palamistuotteina pääosin hiilidioksidia ja vettä. Yleensä palaminen on kuitenkin epätäydellistä, jolloin palamisessa muodostuu hiilimonoksidia, savua ja nokea. /5./

EPS-eristeiden palo-ominaisuuksia parannetaan käyttämällä valmistuksessa paloahdistavalla aineella varustettuja raaka-aineita, joilla saadaan aikaiseksi niin sanottu vaikeasti syttyvä EPS-lämmöneriste. Tällainen eriste ei ylläpidä palamista, vaan eriste kutistuu liekin alta jäähdyttäen liekkiä ja eriste sammuu liekin loitonnuttua. Palosuojatut EPS-eristeet erottaa tavallisista

eristeistä tuotenimikkeen lisämerkinnästä S. Palosuojatuista ja tavallisista eristeistä ei vapaudu sisäilmaan haitallisia aineita. /5./

Kun EPS-eriste on palosuojattu EN-standardien mukaisesti, niin sen paloluokka on D tai E, ilman palosuojasta paloluokka on F. EPS-eristeille on lisäksi tyyppihyväksytty Suomen Rakentamismääräyskokoelman osasta E1 (Rakennusten paloturvallisuus, Määräykset ja ohjeet) poikkeavia paloteknisiä käyttötapoja. /5./

Polyuretaanisolumuovi (PUR)

Polyuretaanisolumuovi on ponnekaasun avulla paisutettu umpisoluihin lämmöneriste. /1, s.40/. Ponnekaasuna käytetään nykyisin pääosin pentaania, joka on ympäristölle haitatonta hiilivetyä. Polyuretaanisolumuovin pääraaka-aineet ovat polyoli ja isosyanaatti, jotka reagoivat keskenään muodostaen umpisoluisen lämmöneristeen. /6./ Seinärakenteissa käytettävän polyuretaanisolumuovin lämmönjohtavuus on 0,024 – 0,030 W/mK.

Polyisosyanyraatti (PIR)

Polyisosyanyraatista valmistettavat lämmöneristeet valmistetaan samantapaisesti kuin polyuretaanisolumuovista (PUR) valmistetut lämmöneristeet, sillä erotuksella, että PIR-eristeissä on käytetty noin kaksinkertainen määrä isosyanaattia valmistuksessa. Valmistusprosessin keski- ja loppuvaiheessa nostetaan ja pidetään lämpötila riittävän korkeana, jotta polyolin ja isosyanaatin reaktio saadaan pidemmälle kuin valmistettaessa polyuretaanieristeitä. /7./ Tällöin PIR-eristeen kemiallinen koostumus on hieman erilainen kuin polyuretaanieristeillä.

Valmistusprosessissa lämmöneristeen lämmönkestävyys kasvaa, jolloin sillä saadaan parempi paloluokitus. Seinärakenteissa käytettävän lämmöneristeen lämmönjohtavuus on 0,023 – 0,027 W/mK, riippuen lämmöneristeen pinnoitustavasta, mikä on hieman parempi kuin polyuretaanisolumuovista valmistetun lämmöneristeen lämmönjohtavuus.

Polyisosyanyraatista valmistettuja eristeitä käytetään haluttaessa hieman polyuretaania parempi lämmöneristävyys ja parempi paloluokitus /6/.

Muut lämmöneristeet

Muita lämmöneristeinä käytettäviä materiaaleja ovat muun muassa kevytbetoni, sahanpuru ja puhallusvillat. Näitä materiaaleja ei kuitenkaan käytetä tavanomaisten kerrostalojen seinärakenteiden korjausrakentamisessa, eikä niitä ole tarpeen erikseen tutkia.

2.2 Kosteus

2.2.1 Kosteuslähteet

Rakennuksiin kohdistuvia kosteuslähteitä ovat sade eri olomuodoissaan, pohjavesi, ilman kosteus, aineen kosteus, ihmisten toiminnasta aiheutuva kosteus sekä erilaiset vuodot.

Kosteuslähteistä kaikkein näkyvin on sade erilaisissa olomuodoissaan, kuten vetenä, räntänä ja lumena. Yleisin sadetyyppi Suomessa on pystysade, joka rasittaa lähinnä vaakasuoria ja vinoja pintoja sekä räystäättömissä rakennuksissa myös pystysuoria seinäpintoja. Rakennuksia rasittaa kuitenkin kaikkein eniten voimakkaan tuulen aikaansaama viistosade, joka aikaansaa sadeveden tai lumen nousua ylöspäin julkisivun ulkopinnassa pyörteiden avulla. Ulkoseinän alaosalle ja perustuksille tulee vielä lisärasitusta roiskevedestä ja lammikoitumisesta sekä maahan imeytyvästä vajovedestä. Talvisin seinärakenteen alaosaa ja perustuksia rasittavat lisäksi lumi ja jää. /1, s.52./

Pohjavesi on vettä, joka esiintyy pysyvästi maanpinnan alla maaperässä tai kallioperässä. Pintaveden imeytyessä maahan siitä muodostuu pohjavettä ja pohjavesi onkin yleensä läheisessä yhteydessä pintaveteen, kuten jokiin ja järviin. Pohjaveden pinnan korkeus vaihtelee alueellisesti, riippuen muun muassa sademäärästä ja paikallisista viemäröinneistä. Pohjaveden ja maaperässä olevien muiden vesien mahdollinen kapillaarinen vedenliike tulee ottaa huomioon rakenteiden suunnittelussa ja estää veden kapillaarinen nousu rakenteisiin. /1, s.52./ Jos rakennuksen ympäriltä ei saada poistettua vettä hallitusti, niin talvella vesi jäätyy ja saattaa aiheuttaa vaurioita rakennukselle.

Ihmisten toiminta rakennuksissa lisää lähinnä rakennuksen sisällä olevan ilman kosteuspitoisuutta. Esimerkiksi peseytyminen, ruuanlaitto ja vaatteiden kuivattaminen lisää rakennuksen sisällä olevaa kosteusrasitusta.

Vuodoista aiheutuu rakenteiden toiminnalle yleensä haittaa ja niiden aiheuttajana on yleensä huono suunnittelu tai toteutus. Vuotoja esiintyy erilaisten vesiputkistojen tai kattojen, parvekkeiden ja märkätilojen vesieristyksessä ja liittymissä toisiin rakenteisiin. /1, s.52./

2.2.2 Ilman kosteus

Ilman kosteustila voidaan ilmoittaa kolmella eri tavalla: vesihöyrymääränä (absoluuttinen kosteus), vesihöyryn osapaineena tai suhteellisena kosteute-
na.

Absoluuttisella kosteudella tarkoitetaan ilman tietyssä tilanteessa sisältämää vesimäärää, yksikkönä on kg/m^3 . Rakenteita ympäröivä ilma sisältää aina jonkin verran kosteutta. /1. s.55./

Vesihöyryn osapaineella tarkoitetaan painetta, jonka aiheuttaa ilman sisältämä vesihöyry. Vesihöyryn osapaine kasvaa lämpötilan ja vesihöyrypitoisuuden kasvaessa. Yksikkö on Pa. /1. s.55./

Suhteellisella kosteudella tarkoitetaan absoluuttisen kosteuden (tai vesihöyrynpaineen) ja kyllästyskosteuden (tai kyllästyspaineen) välistä suhdetta, yksikkönä on %. Suhteellinen kosteus ei voi ylittää 100 prosenttia. /1. s.55./

Ulkoilman suhteellinen kosteus on talvella suurempi kuin kesällä johtuen kylmemmän ilman kyvystä sitoa vähemmän vesihöyryä kuin lämmin ilma. Eli vaikka ulkoilman suhteellinen kosteus on suuri, niin silti ulkoilman kosteusmäärä grammaa / kuutio on pieni. /2, s.1./

Kyllästyskosteus on tila, jossa ilma sisältää maksimimäärän vesihöyryä lämpötilaan nähden. Suhteellinen kosteus on tässä tapauksessa 100 %. /1. s.55./

Kastepisteellä tarkoitetaan lämpötilaa, jossa ilman kosteus saavuttaa kyllästyskosteuden ja tällöin ilmassa oleva vesihöyry kondensoituu vedeksi /1. s.55/.

Kondensoitumisella tarkoitetaan tapahtumaa, jolloin ilman kosteuspitoisuus saavuttaa kastepisteen. Tällöin ilmassa oleva vesihöyry tiivistyy nesteeksi joko kiinteään aineen pinnalle tai sen sisälle ilmahuokosiin tai tiivistyminen tapahtuu ilmassa. /2, s.2./

Kyllästysvajaudesta tarkoitetaan tietyssä lämpötilassa vesihöyryn ja mitatun todellisen vesihöyrynpaineen erotus. Kyllästysvajausta ilmoittaa ilman kosteuden sitomiskyvyn. /1. s.55./

2.2.3 Aineen kosteus

Eri aineet sisältävät aina tietyn määrän kosteutta. Aineessa olevan kosteuden määrä ilmoitetaan kosteuden ja kuiva-aineen välisen massan suhteena. Yksikkönä voidaan käyttää joko prosentteja kuivapainosta, kosteuden massan ja tilavuuden välisenä suhteena [$\text{kg/m}^3 = \text{tilavuus- \%}$] tai tasapainokosteuden avulla. /1. s.61./

Tasapainokosteudella tarkoitetaan aineessa olevan kosteusmäärän asettumista aineesta riippuvaan tiettyyn arvoon riippuen ympäröivän ilman lämpötilasta ja kosteudesta. /1. s.61/.

2.2.4 Rakennekosteus

Rakennekosteus on ylimääräistä kosteutta, joka on tullut rakenteisiin rakennustarvikkeiden ja rakennusaineiden valmistuksen, varastoinnin ja rakentamisen mukana. Rakennekosteus poistuu rakenteista ajan myötä ja rakenne asettuu kosteustasapainoon ympäristön kanssa. /3, s.52./

Rakennekosteudesta suurin osa tulee yleensä betonin valussa ja muurauslaastissa käytetystä vedestä. Rakennekosteuden tulee olla poistunut rakenteesta, jos rakenteet pinnoitetaan kuivumisen estävällä kerroksella, eikä kuivumista pääse enää tapahtumaan, jottei aiheutettaisi kosteusvaurioita rakenteille. /1, s.61./

Rakennekosteuden poistuttua rakenteista rakenteiden tulisi asettua tasapainokosteuteen ympäristönsä kanssa, jolloin rakenteiden kokonaiskosteuden vaihtelun tulisi pysyä likimain samoissa arvoissa vuodesta toiseen vuodenaikojen ja ympäristöolosuhteiden aiheuttamien vaihteluiden mukaan.

2.2.5 Kosteudesta aiheutuvat haitat

Rakenteissa oleva liiallinen kosteus aiheuttaa yleensä erilaisia ongelmia rakenteiden toiminnalle ja säilyvyydelle sekä mahdollisesti ihmisten terveydelle. Kosteus voi aiheuttaa erilaisia fysikaalisia, kemiallisia, biologisia ja esteettisiä haittoja. /8, s.29./

Kosteuden aiheuttamat fysikaaliset muutokset aineiden ominaisuuksissa voivat aiheuttaa erilaisia muodonmuutoksia, josta johtuen rakennustarvikkeiden kiinnitys ja eri materiaalien yhteensopivuus tulee varmistaa. Liiallinen kosteus eri rakennekerrosten välissä saattaa aiheuttaa pintojen irtoamisen toisistaan pakkasrapautumisesta johtuen lämpötilan laskiessa ja veden tilavuuden kasvaessa sen jäätyessä. Rakenteiden ja materiaalien kuivumisesta aiheutuu muodonmuutoksia, jotka täytyy huomioida materiaalista riippuen. /8, s.30./

Rakenteessa oleva kosteus vaikuttaa kemialliselta kannalta kemiallisten reaktioiden nopeuteen ja määrään sekä aiheuttaa aineiden siirtymistä ja huuhtoutumista /8, s.31/.

Liiallinen kosteus rakenteissa aiheuttaa biologista turmeltumista, jolloin mikro-organismit pääsevät kasvamaan. Mikro-organismit voivat kasvaa rakenteissa, vaikka rakennusaineissa ei olisikaan sellaisenaan ravinteita kasvun mahdollistamiseksi. Tämä johtuu siitä, että rakenteisiin kertyy kuitenkin likaa ja pölyä, joita organismi voi käyttää ravinnokseen. Tästä johtuen rakenteet olisi hyvä puhdistaa säännöllisesti, jos se vain on mahdollista. Vaikka rakenteet pystyttäisiin puhdistamaan, niin rakenteiden varjoisissa kohdissa saat- taan silti alkaa kasvaa organismeja syysaikaisen ulkona olevan korkean suhteellisen kosteuden johdosta, vaikka rakenne olisi muutoin kosteustekniseltä toiminnaltaan täysin kunnossa. Tällainen homeen kasvu on rinnastettavissa luonnossa tapahtuvaan homeen kasvuun, eikä sen kasvaminen välttämättä edellytä minkäänlaisia toimenpiteitä. /8, s.30-31./

Kosteus aiheuttaa rakenteissa myös esteettisiä haittoja, joilla on merkitystä lähinnä ulkonäön kannalta. Yleisimpiä esteettisiä vaikutuksia ovat kosteuden aiheuttama likaantuminen, lian epätasainen huuhtoutuminen julkisivussa sekä kosteudesta johtuvat värinmuutokset. /8, s.31./

2.3 Rakennuksen ilmanpaineet ja ilmavirtaukset

2.3.1 Konvektio

Konvektio eli ilman virtaus voidaan jakaa kahteen erilaiseen tyyppiin, pakotettuun ja luonnolliseen.

Luonnollisella konvektiolla tarkoitetaan ilman tiheyseroista johtuvaa pys- tysuoran ilman virtausta kerroksellisissa rakenteissa, joita ovat muun muas-

sa seinät ja ikkunat, tai rakenteiden pinnoilla. Esimerkiksi seinässä olevassa ilmaa läpäisevässä lämmöneristeessä pääsee tapahtumaan luonnollista konvektiota, kun lämmöneristeessä lähempänä sisäpintaa oleva ilma lämpeenee ja pyrkii virtaamaan ylöspäin pienentyneen tiheyden vuoksi. Lämmöneristeen ulkopinnalla oleva ilma puolestaan jäähtyy ja tiheyden kasvaessa ilma pyrkii virtaamaan alaspäin. Lämmöneristeen sisälle muodostuu näistä ilmanvirtauksista luonnollinen ilmankierto, joka kuljettaa virtauksen mukana lämpöä ja kosteutta. /1, s. 31./

Lämmöneristeessä alaspäin virtaava jäähtynyt ilma jäähdyttää seinän alaosaa ja saattaa aiheuttaa siellä kondensoitumista. Ylöspäin virtaava lämmennyt ilma puolestaan lisää seinän yläpäässä kosteuspainetta. Nämä tekijät tulee ottaa huomioon seinän rakenteellisessa suunnittelussa, vaikka luonnollinen konvektio pienentääkin käytännössä vain vähäisessä määrin huokoisen lämmöneristeen eristävyttä. /1, s. 31./

Lämmöneristeen huokosten ilmanläpäisevyydellä on vaikutusta luonnollisen konvektion voimakkuuteen, sillä tiiviissä lämmöneristeessä ei pääse tapahtumaan kovin voimakasta luonnollista konvektiota /1, s. 31/.

Pakotetulla konvektiolla tarkoitetaan savupiippuvaikutuksen, tuulen tai LVI-laitteiden (ilmanvaihto, lämmitys) aikaansaamaa ilman virtausta paine-eron avulla rakenteiden lävitse tai rakenteiden pinnoilla. Jotta pakotettu konvektio olisi mahdollinen rakenteiden lävitse, täytyy rakenteissa olla epätiiviyttä kohtia, joista ilma pystyy virtaamaan rakenteen lävitse. /1, s. 31./

Savupiippuvaikutuksessa huoneilmassa oleva lämmin ilma pyrkii ylöspäin muodostaen rakennuksen yläosaan ylipainetta, samalla rakennuksen alosaan muodostuu alipainetta. Savupiippuvaikutuksen suuruuteen vaikuttavat tilan korkeus ja lämpötilaerot. Savupiippuvaikutuksen aikaansaamat paine-erot ovat pieniä, mutta ne ovat käytännössä pysyviä, jolloin niillä on merkitystä lämpö- ja kosteusteknisesti rakenteiden toiminnassa. /1, s. 32./

Ilmanvaihtokoneilla ja lämmityksellä voidaan saada rakennuksen sisälle joko ali- tai ylipainetta. Alipaine kuivattaa seinärakennetta ja siksi pieneen alipaineeseen rakennuksessa tulisikin aina pyrkiä. Alipaine imee rakenteiden sisälle korvausilmaa ulkoa ja talvella kylmä, vähän kosteutta sisältävä ulkoilma lämpeenee virratessaan rakenteeseen sitoen samalla rakenteesta kosteutta ja kuivattaen täten rakennetta. /1, s. 34./

Jos sisätilassa on ylipainetta, esimerkiksi väärin säädetystä ilmanvaihdesta johtuen, niin ilman- tai höyrynsulun vuotokohdista virtaa lämmintä ja kosteata ilmaa rakenteen sisälle aiheuttaen kosteusvaurioriskin. Lämpimän ilman sisältämä kosteus voi tällöin kondensoitua rakennusosan sisälle aiheuttaen samalla mikrobikasvua. /2, s. 3./

2.3.2 Ilmanpaine ja kosteus

Rakennuksen sisä- ja ulkopuolella vallitsee yleensä melkein sama ilmanpaine ilmanpaine-eron ollessa muutaman Pascalin verran. Ilmanpaine-ero muuttuu ilmanpaineen vaihdellessa. Vesihöyryn osapaineista aiheutuvat paine-erot (diffuusio) rakennuksen sisä- ja ulkopuolella ovat kuitenkin useita satoja Pascaleita. /1, s. 35./

Jos rakennuksessa on ylipainetta ulkoilmaan nähden, niin tällöin esimerkiksi hyvinkin pienien ilman- tai höyrynsulussa olevien reikien kautta pääsee virtaamaan suuria määriä lämmintä ja kosteata sisäilmaa konvektion avulla rakenteen sisään, jolloin kosteus saattaa tiivistyä vedeksi rakenteessa ja aiheuttaa ongelmia rakenteen toiminnalle. Jos taas rakennuksessa on alipainetta ulkoilmaan nähden, niin ulkoa virtaava kylmä ja vähän kosteutta sisältävä ilma kuivattaa rakenteita samalla, kun se lämpenee ja sen kosteudensitomiskapasiteetti kasvaa lämpötilan noustessa. /1, s. 35./

3 KORJAUSKOHDE

3.1 Korjauskohteen perustiedot

Insinööritöyssä tutkittava asuinkerrostalo (kuva 1) sijaitsee Helsingin Pitäjänmäen kaupunginosassa ja kyseinen korjauskohde on rakennettu 1970-luvun alussa. Harjakattoisessa rakennuksessa on viisi porrashuonetta ja se on nelikerroksinen, alimman kerroksen toimiessa kellarikerroksena, huoneistoja rakennuksessa on 36 kappaletta. Rakennus on 89,6 metriä pitkä, 11,1 metriä leveä ja korkeus on korkeimmassa kohdassa 12,6 metriä maanpinnasta rakennuksen harjalle.

Rakennuksen poikittaissuuntaiset seinät ovat kantavia ja julkisivut on tehty käyttäen betonisandwich-elementtejä, joissa on alimmassa kerroksessa betonipinta maalaus käsiteltynä ja ylemmissä kerroksissa olevissa elementeissä on vaalea kalkkikivirouhepinta.



Kuva 1. Insinööriyössä tutkittava asuinkerrostalo.

Rakennukselle on suoritettu parvekkeiden ja julkisivujen kuntotutkimus vuonna 2004 ja vuonna 2009 on suoritettu julkisivujen lisänäytetutkimus. Kuntotutkimuksen perusteella rakennuksen pohjoisjulkisivun betoniulkokuoret ovat ainoita, jotka ovat korjauskelpoisessa kunnossa. Kaikilla muilla julkisivuilla vanhan rakenteen korjausta ei suositella korjaamalla vanhaa rakennetta, vaan uusimalla rakenteet. Kuntotutkimuksen ja lisänäytetutkimuksen perusteella julkisivujen ulkokuorien paikalleen jättäminen ei ole taloudellisesti järkevää, vaan kaikilta julkisivuilta on päätetty purkaa ulkokuori ja vanhat lämmöneristeet pois.

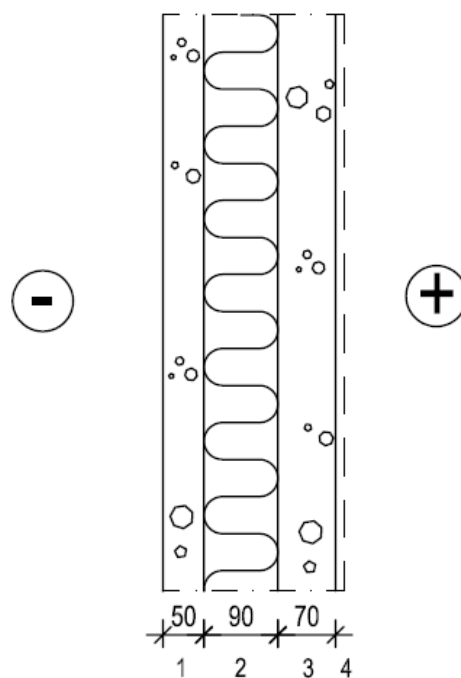
Julkisivukorjauksen yhteydessä korjataan ja uusitaan myös talotikkaat, syöksyputket, räystäskourut, ulkoseinissä olevat vesihanat ja selvitetään mahdollisesti ulkoverhouspaneelien, ulko-ovien ja mahdollisten salaojien kunto ja korjaustarpeet. Lisäksi uusitaan mahdollisesti pohjoisjulkisivun ikkunat uusilla puu-alumiini-ikkunoilla. Muilla julkisivuilla ikkunat on uusittu jo aikaisemmin. Liitteessä 6 on esitetty syöksytorven kiinnitys seinärakenteeseen, kun lämmöneristys on uusittu.

3.2 Korjauskohteen vanhat rakennetyypit

Rakennuksen julkisivuissa on käytetty betonisia sandwich-elementtejä, joiden lämmöneristeen paksuus on 90 mm.

3.2.1 Pitkät julkisivut

Rakennuksen pitkällä sivuilla olevissa elementeissä (kuva 2) on betonisisäkuori, jonka paksuus on 70 mm, mineraalivillasta oleva lämmöneriste paksuudeltaan 90 mm ja ulkokuorena 50 mm paksu betoni kalkkikivirouhepinnoitteella. Rakenteen kokonaispaksuus on 210 mm.



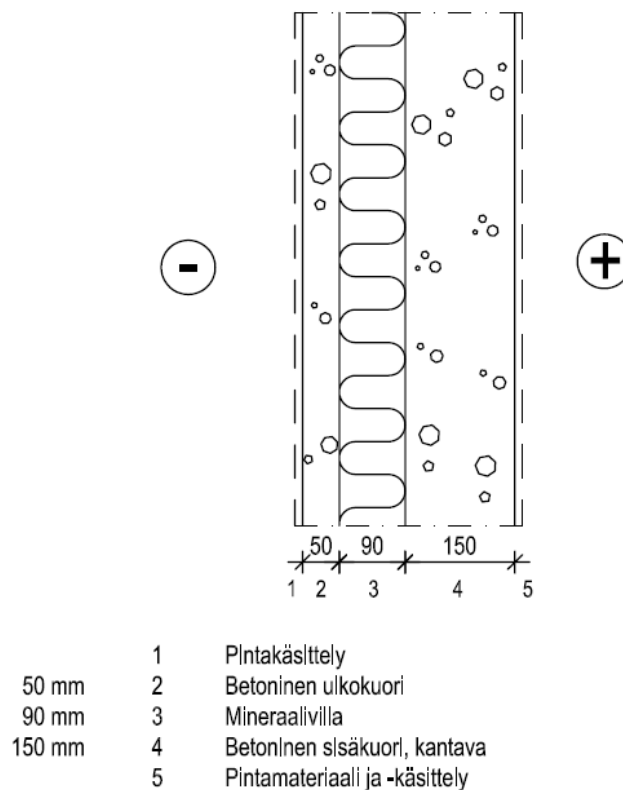
50 mm	1	Betoninen ulkokuori, vaalea kalkkikivirouhepinna
90 mm	2	Mineraalivilla
70 mm	3	Betoninen sisäkuori, ei-kantava
	4	Pintamateriaali ja -käsittely

Kuva 2. Vanha pitkän sivun seinärakenne, jossa on 50 mm paksu betoninen ulkokuori, 90 mm lämmöneristettä ja 70 mm paksu kantamaton betoninen sisäkuori.

Vanhan rakenteen lämmöneristeen paksuus ei välttämättä ole 90 mm, vaan se voi olla paikoitellen vähemmänkin, esimerkiksi 70 mm. Lämmöneristeen paksuusvaihtelu johtuu todennäköisesti elementtien valmistuksessa käytetystä liian pehmeästä lämmöneristeestä, joka painuu kasaan betonin aiheuttaman paineen alla valun aikana.

Vanhan lämmöneristeen lämmönjohtavuus on arviolta $0,042 - 0,045 \text{ W/mK}$, jolloin vanhan rakenteen U-arvo on $0,419 - 0,446 \text{ W/m}^2\text{K}$. Jos huomioidaan lämmöneristeen mahdollinen painuminen kasaan ja oletetaan lämmöneristeen paksuudeksi 70 mm , niin seinärakenteen U-arvo on $0,521 - 0,553 \text{ W/m}^2\text{K}$. Nykyisten lämmöneristemääräysten mukaisesti U-arvo saa olla enintään $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$.

3.2.2 Alin kerros



Kuva 3. Alimmassa kerroksessa oleva vanha rakennetyyppi, jonka ulkokuori on pysty-
laudoituspintainen ja maalattu betoni. Sisäkuori voi olla joko 150 mm tai 70 mm paksu
riippuen siitä, onko se kantava vai ei.

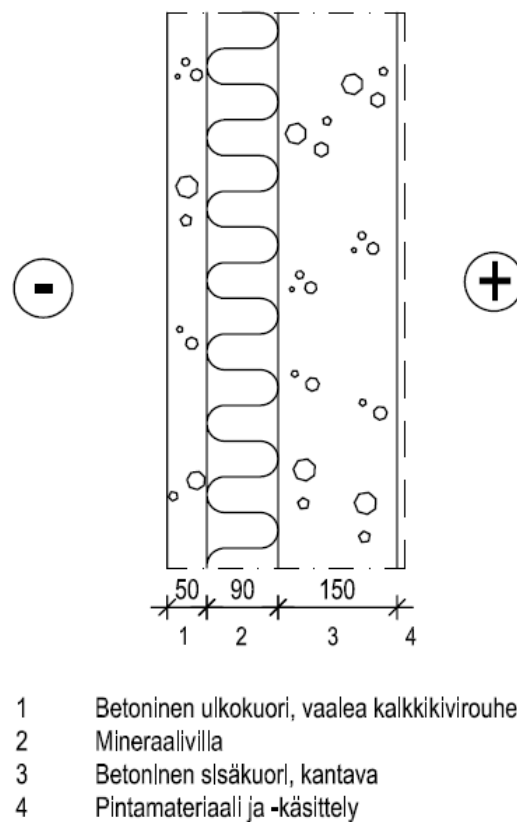
Alimmassa kerroksessa (kuva 3) on yhtä paksut sisäkuoret ja lämmöneris-
teet kuin päädyissä ja pitkillä sivuilla, riippuen siitä onko seinä kantava vai ei.
Myös ulkokuoret ovat 50 mm paksut, mutta pintana on pysty-
laudoitusmuotin pinta ja maalaus-
käsittely. Lämmöneristeen paksuus on 90 mm suunnitelmi-
en mukaan. Lämmöneristeen paksuus voi kuitenkin vaihdella, kuten pitkillä
julkisivuillakin.

Alimman kerroksen seinät ovat osittain maata vasten, johtuen tontin maape-
rän muotoilusta. Alimman kerroksen seinät on voitu käsitellä bitumisivelyllä
maata vasten olevilta kohdista rakentamisen aikana. Bitumisively on voinut es-

tää elementin kosteuspitoisuuden nousun jonkin aikaa, mutta bitumi haurastuu vuosien aikana ja päästää lävitseen tällöin kosteutta. Alimman kerroksen elementtien betoniulkokuorien suhteellinen kosteuspitoisuus saattaakin olla jatkuvasti 100 %, millä on haitallisia vaikutuksia rakenteiden toiminnalle ja mahdollisesti sisäilmastolle.

Alimman kerroksen seinärakenteen U-arvo on samaa luokkaa kuin pitkillä julkisivuilla olevissa elementeissäkin.

3.2.3 Päädyt



Kuva 4. Päädyissä oleva vanha rakennetyyppi, jossa on 50 mm paksu betoniulkokuori, 90 mm lämmöneristettä ja 150 mm paksu kantava betoninen sisäkuori.

Päädyissä olevissa elementeissä (kuva 4) on kantava sisäkuori paksuudeltaan 150 mm, lämmöneristeen paksuus on sama 90 mm kuin muissakin rakennetyypeissä ja ulkokuorena on samanlainen kalkkikivirouhepintainen betoni kuin rakennuksen pitkällä julkisivuilla. Rakenteen kokonaispaksuus päädyissä on 290 mm.

Rakenteen U-arvo on hieman parempi kuin pitkällä julkisivuilla, koska päädyissä on paksumpi betoninen sisäkuori. U-arvo on 0,411 – 0,437 W/m²K,

kun lämmöneristeen paksuus on 90 mm. Jos huomioidaan lämmöneristeen painuminen valun aikana ja käytetään samaa 70 mm paksuutta, kuin pitkien julkisivujen U-arvon laskennan yhteydessä, niin päätyjen U-arvo on 0,508 – 0,539 W/m²K.

4 TUTKIMUKSEN SUORITUS JA TULOKSET

4.1 Uudet rakennetyypit

Vanhoja rakennetyyppejä on kolme kappaletta ja niitä korvaamaan on suunniteltu kolmetoista uutta rakennetyyppiä. Uudet rakennetyypit eroavat toisistaan lämmöneristemateriaaliltaan ja lämmöneristepaksuuksiltaan. Niissä on myös erilainen uloin rakenne. Osassa on ohutrappaus, osassa on betoninen ulkokuori ja loppuissa on tiilimuuraus.

Uusien rakennettyypien erilaiset julkisivuratkaisut valittiin sillä periaatteella, että rakennuksen julkisivuun saataisiin hieman vaihtelua. Samalla voidaan tutkia tuulettuvan ja tuulettumattoman rakenteen eroavaisuutta.

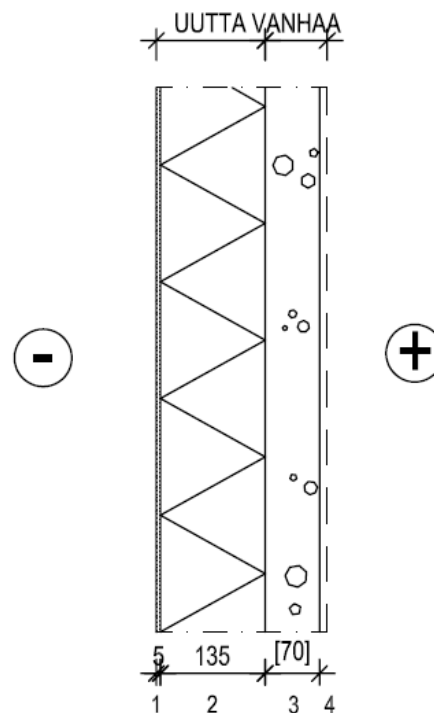
Vanhoista rakenteista puretaan vanhat betoniset ulkokuoret ja lämmöneristeeset pois. Rakenteissa on korvattu vanha mineraalivilla ThermiSol Oy:n valmistamilla eristeillä. Tutkittavat eristetyypit ovat ThermiSol EPS 60S Seinä (valmistusmateriaali EPS), ThermiSol Platina Sänkkäri / Välkkäri / Rappari (valmistusmateriaali EPS) ja ThermiSol Titan Proline ja ThermiSol Titan Topline (valmistusmateriaali PIR). Erilaiset eristetyypit on valittu tutkimuksen kohteeksi, koska niillä on erilainen lämmönjohtavuus, jolloin rakennettyypien tutkimisessa saadaan erilaisia tuloksia ja mahdollisuuksia toteuttaa rakenne energiataloudellisesti eri tavoin.

Lämmönläpäisykertoimien laskennassa sisäpuolisena pintavastuksena käytetään arvoa 0,13 m²K / W ja ulkopuolisena pintavastuksena 0,04 m²K / W sekä betonin lämmönjohtavuutena arvoa 1,7 W/mK SrakMk:n osan C4 mukaisesti. Uusien rakennettyypien lämmönläpäisykertoimet saadaan laskettua todellisella eristepaksuudella, koska eristeille ei pääse tapahtumaan koonpuristumista, kuten vanhoille mineraalivillaeristeille on todennäköisesti käynyt elementtien valmistuksen yhteydessä.

4.1.1 Pitkät julkisivut US1

Pitkillä julkisivuilla vanha rakenne korvataan asentamalla betonisen sisäkuoren (paksuus 70 mm) ulkopintaan EPS:stä tai PIR:istä valmistetut uudet lämmöneristeet joko liimaamalla tai liimaamalla ja kiinnittämällä järjestelmään kuuluvilla mekaanisilla kiinnikkeillä. Lämmöneristeen ulkopintaan tulee ohutrappaus valmistajan ohjeiden mukaisesti.

Tutkittavia uusia rakennetyyppejä on neljä kappaletta, jotka eroavat toisistaan paksuuksiltaan ja materiaaliltaan.



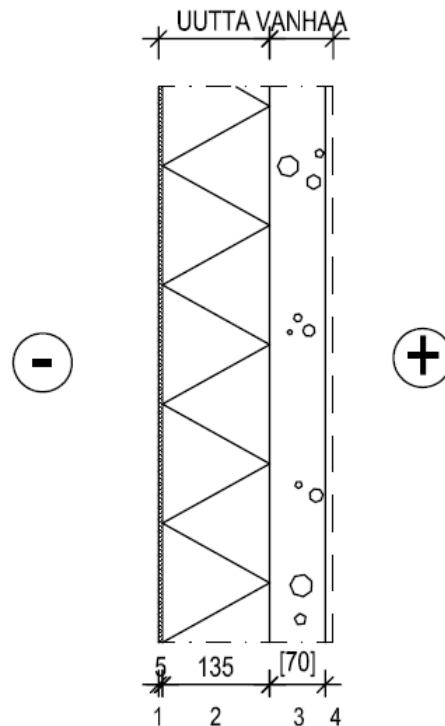
5 mm	1	Ohutrappaus valmistajan ohjeen mukaan, uusi
135 mm	2	Thermisol Platina Rappari, $\lambda=0,031$ W/mK, uusi
[70 mm]	3	Betoninen sisäkuori, ei-kantava, vanha
	4	Pintamateriaali ja -käsittely, vanha

Lämmönläpäisykerroin: 0,219 W/m²K

Kuva 5. Ensimmäinen tutkittava rakennetyyppi, US1a.

Ensimmäisessä rakennetyypissä, US1a, (kuva 5) tutkitaan 135 mm paksun ThermiSol Platina Rappari -lämmöneristeen vaikutusta rakenteeseen. Lämmöneristeen paksuus on valittu sillä perusteella, että uuden rakenteen kokonaispaksuus olisi sama kuin vanhan rakenteen.

Rakenteen lämmönläpäisykerrointa (U-arvo) laskettaessa käytetään Ther-
miSol Platina -lämmöneristeen lämmönjohtavuutta $0,031 \text{ W/mK}$, Rakenteelle
saadaan näillä arvoilla lämmönläpäisykertoimeksi $0,219 \text{ W/m}^2\text{K}$.

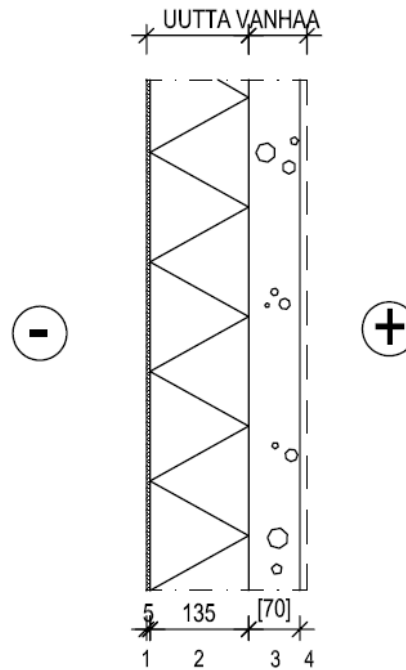


5 mm	1	Ohutrappaus valmistajan ohjeen mukaan, uusi
135 mm	2	Thermisol EPS 60S Seinä, $\lambda=0,039 \text{ W/mK}$, uusi
[70 mm]	3	Betoninen sisäkuori, ei-kantava, vanha
	4	Pintamateriaali ja -käsittely, vanha

Lämmönläpäisykerroin: $0,272 \text{ W/m}^2\text{K}$

Kuva 6. Toinen tutkittava rakennetyyppi, US1b.

Toisessa tutkittavassa rakennetyypissä, US1b, (kuva 6) on 135 mm paksu
ThermiSol EPS 60S Seinä -eriste, jonka lämmönjohtavuus on $0,039 \text{ W/mK}$.
Rakenteelle saadaan lämmönläpäisykertoimeksi näillä arvoilla $0,272 \text{ W/m}^2\text{K}$.

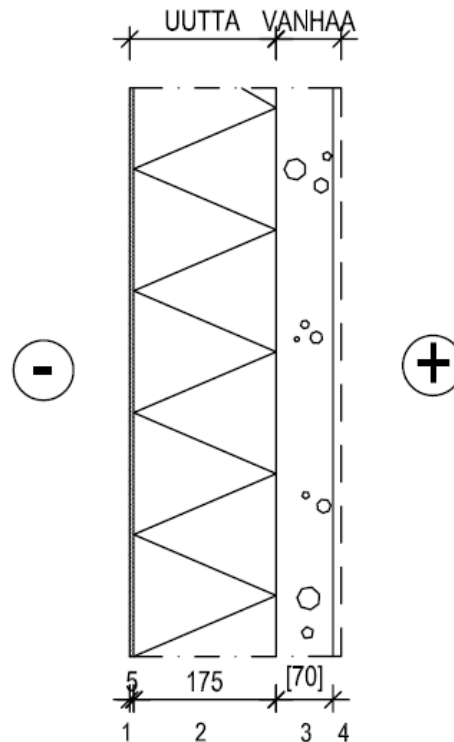


5 mm	1	Ohutrappaus valmistajan ohjeen mukaan, uusi
135 mm	2	Thermisol Titan Proline, $\lambda=0,025$ W/mK, uusi
[70 mm]	3	Betoninen sisäkuori, ei-kantava, vanha
	4	Pintamateriaali ja -käsittely, vanha

Lämmönläpäisykerroin: $0,178$ W/m²K

Kuva 7. Kolmas tutkittava rakennetyyppi, US1c.

Kolmannessa vaihtoehdossa, US1c, (kuva 7) tutkitaan 135 mm paksun ThermiSol Titan Proline -lämmöneristeen vaikutusta rakenteeseen. Lämmöneristeessä on pintana lasikuitupäälyste, joka mahdollistaa rappausrakenteen toteuttamisen. Lämmöneristeen lämmönjohtavuus on $0,025$ W/mK. Rakenteen lämmönläpäisykerroin kyseisellä lämmöneristeellä on $0,178$ W/m²K.



5 mm	1	Ohutrappaus valmistajan ohjeen mukaan, uusi
175 mm	2	Thermisol Platina Rappari, $\lambda=0,031$ W/mK, uusi
[70 mm]	3	Betoninen sisäkuori, ei-kantava, vanha
	4	Pintamateriaali ja -käsittely, vanha

Lämmönläpäisykerroin: $0,170$ W/m²K

Kuva 8. Neljäs tutkittava rakennetyyppi, US1d.

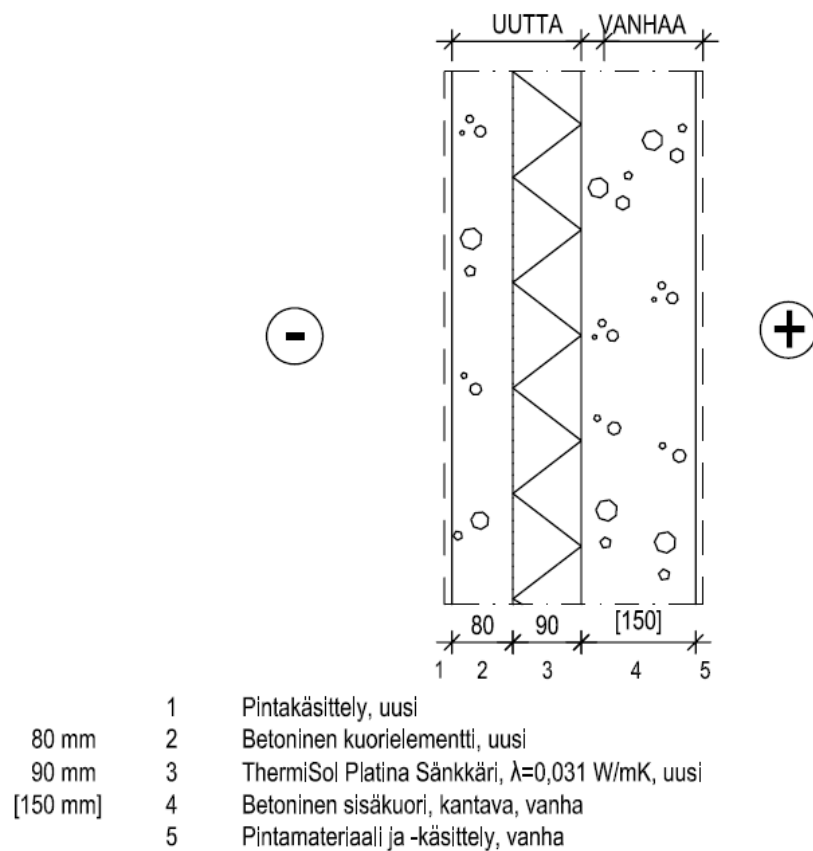
Neljännessä vaihtoehdossa, US1d, (kuva 8) tutkitaan ThermiSol Platina Rappari -lämmöneristettä siten, että lämmöneristepaksuus on vuoden 2010 alusta voimaan tulleiden lämmöneristysmääräysten mukainen. Seinärakenteen U-arvotavoitteena on $0,17$ W/m² K. Kyseinen U-arvo saavutetaan eristepaksuudella 171 mm, jolloin rakenteen U-arvo on $0,174$ W/m² K, mikä täyttää voimassa olevat lämmöneristysmääräykset. Suositeltavaa on kuitenkin käyttää vakiokokoja, jolloin eristepaksuus on 175 mm. Vakiokokoisella eristeellä saavutetaan lisäksi hieman parempi lämmöneristävyys. Paksumman eristeen U-arvo on $0,170$ W/m² K.

4.1.2 Alin kerros US2

Alimmassa kerroksessa korvataan vanha betoninen ulkokuori ja lämmöneristeet uusilla. Uuden betonisen ulkokuoren kiinnitys vanhaan rakenteeseen tulee tutkia erikseen. Kiinnitysvaihtoehtoina on esimerkiksi uuden

betonisen ulkokuoren kiinnittäminen pulttaamalla sisäkuoreen tai hitsaamalla uusi ulkokuori yläreunastaan ja tukemalla alareunasta konsolirakenteella.

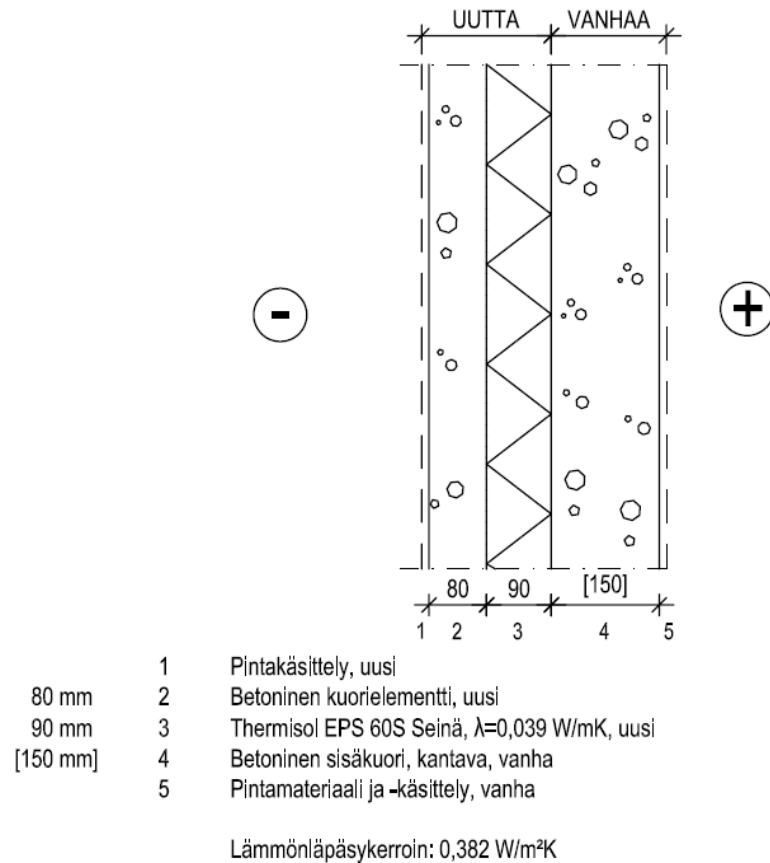
Uudet rakennetyypit on toteutettu tuulettumattomana rakenteena, kuten vanhat rakennetyypitkin. Tutkittavia rakenteita on viisi erilaista. Sisäpuolen betonikuori voi olla joko 150 mm tai 70 mm paksu riippuen siitä, onko se kantava vai ei. Tällä on pieni vaikutus lämmönläpäisykertoimeen. U-arvojen yhteydessä on laskettu molempien vaihtoehtojen U-arvot, suluissa on ilmoitettu 70 mm paksun sisäkuoren U-arvo.



Lämmönläpäisykerroin: $0,311$ W/m²K

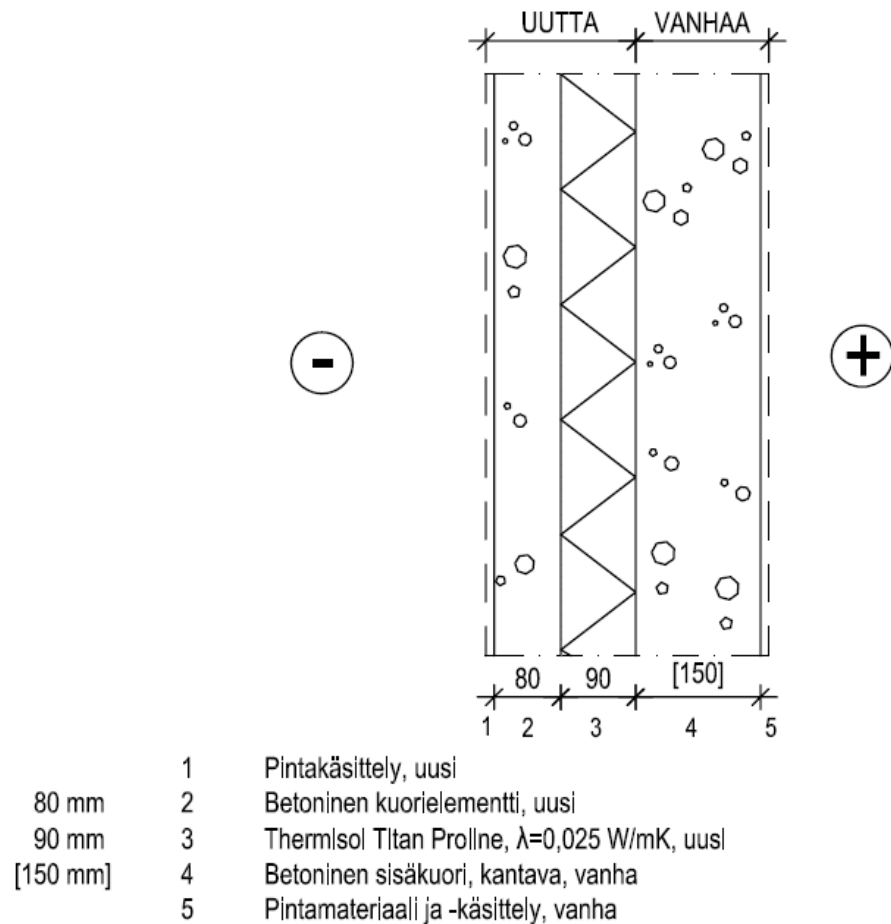
Kuva 9. Ensimmäinen tutkittava rakennetyyppi, US2a.

Ensimmäisessä vaihtoehdossa, US2a, (kuva 9) on vanhan lämmöneriste-paksuuden eli 90 mm verran uutta ThermiSol Platina Sänkkäri -eristettä, jonka lämmönjohtavuus on $0,031$ W/mK. Rakenteen U-arvoksi saadaan $0,311$ ($0,316$) W/m²K.



Kuva 10. Toinen tutkittava rakennetyyppi, US2b.

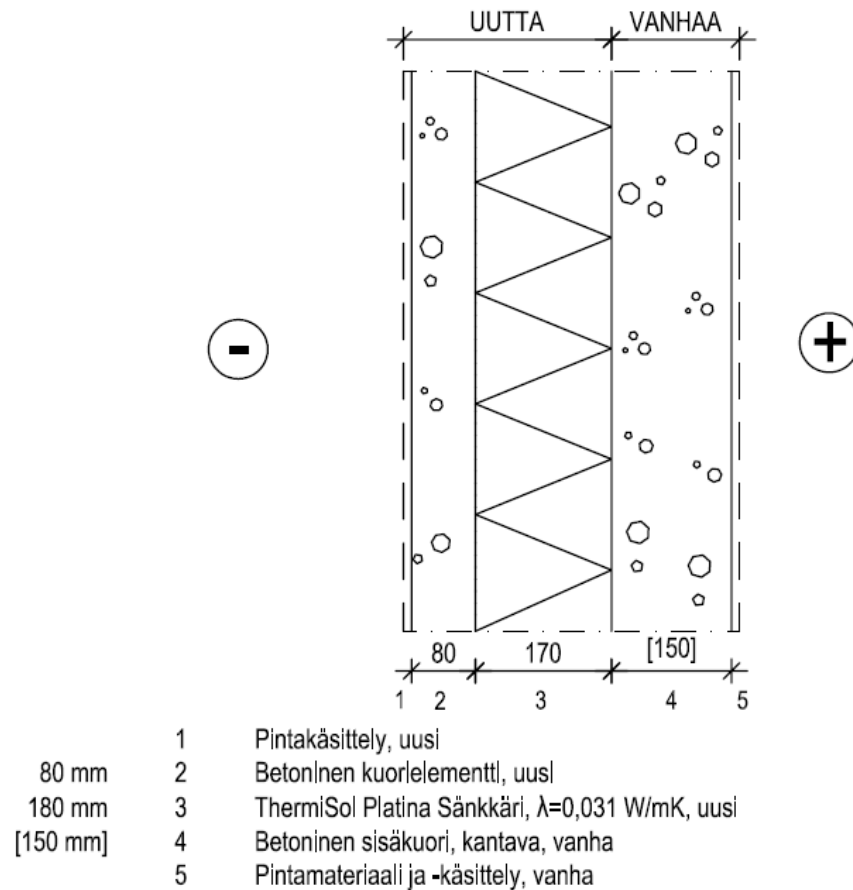
Toisessa vaihtoehdossa, US2b, (kuva 10) on myös vanhan lämmöneristepaksuuden eli 90 mm verran uutta ThermiSol EPS 60S Seinä -eristettä, jonka lämmönjohtavuus on $0,039$ W/mK. Rakenteen U-arvoksi saadaan täten $0,382$ ($0,389$) W/m²K. Suluissa U-arvo, kun sisäkuoren paksuus on 70 mm.



Lämmönläpäsykerroin: 0,256 W/m²K

Kuva 11. Kolmas tutkittava rakennetyyppi, US2c.

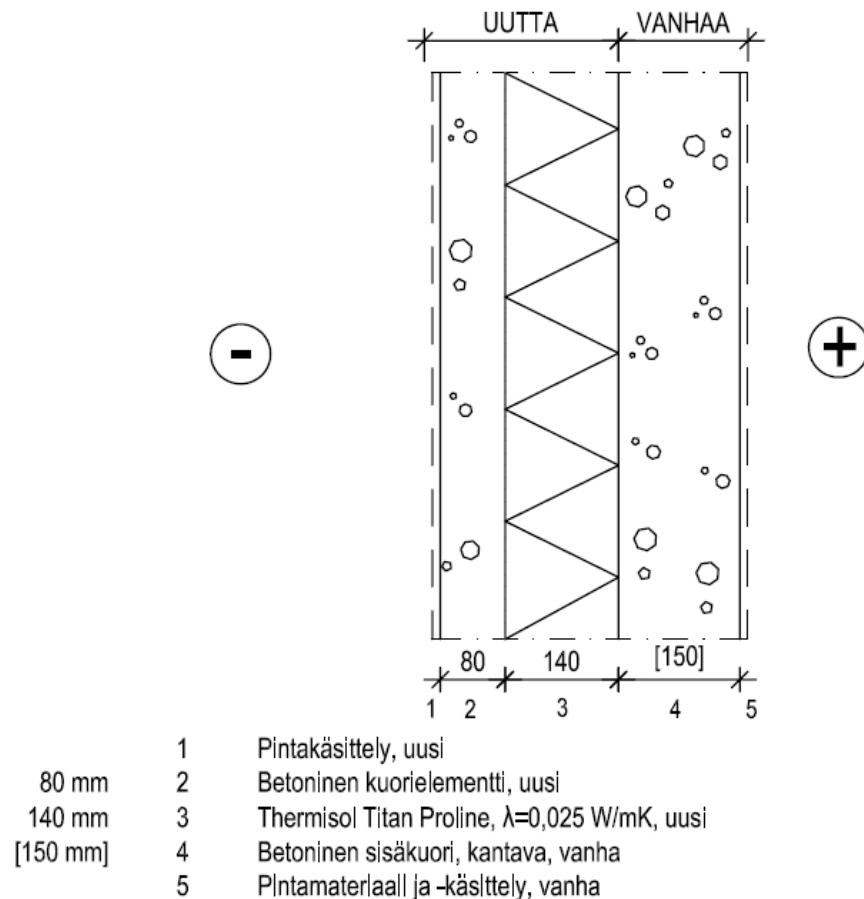
Kolmantena vaihtoehtona, US2c, (kuva 11) on lämmöneristykseltään samanpaksuinen rakenne, mutta lämmöneristeenä on ThermiSol Titan Proline, jonka lämmönjohtavuus on lasikuitupinnoitteisena 0,025 W/mK. Rakenteen U-arvoksi saadaan 0,256 (0,259) W/m²K.



Lämmönläpäsykerroin: $0,172$ W/m²K

Kuva 12. Neljäs tutkittava rakennetyyppi, US2d.

Neljäntenä vaihtoehtona, US2d, (kuva 12) on ThermiSol Platina Sänkkäri -lämmöneristeestä valmistettu eriste, jonka paksuus on uusien lämmöneristysmääräysten U-arvon $0,17$ W/m²K mukainen. Rakenteen lämmöneristeen paksuudeksi saadaan kyseisellä U-arvolla 168 mm, lämmöneristeen paksuutena on kuitenkin järkevää käyttää 170 mm, jolloin rakenteen U-arvo on $0,172$ ($0,174$) W/m²K. Suluissa U-arvo, kun sisäkuoren paksuus on 70 mm.



Lämmönläpäsykerroin: $0,169$ W/m²K

Kuva 13. Viides tutkittava rakennetyyppi, US2e.

Viidentenä vaihtoehtona, US2e, (kuva 13) on muuten sama kuin neljäntenä vaihtoehtona, mutta lämmöneristeenä on nyt ThermiSol Titan Proline, jonka lämmönjohtavuus on $0,025$ W/m²K. Vaatimuksena on uusien lämmöneristysmääräysten mukainen U-arvo $0,17$ W/m²K. Lämmöneristeen paksuuden tulee olla vähintään 136 mm. Paksumman betonisen sisäkuoren tapauksessa rakenteen U-arvo on tällöin $0,174$ W/m²K ja ohuemman sisäkuoren tapauksessa $0,175$ W/m²K, mikä ylittää lämmöneristysmääräysten vaatimuksen $0,17$ W/m²K.

Lämmöneristyksen paksuutta on tästä johtuen syytä kasvattaa 140 mm paksuiseksi, jotta molempien sisäkuorien kohdalla täyttyy lämmöneristysvaatimukset. Rakenteen U-arvo on tällöin $0,169$ ($0,170$) W/m²K, mikä täyttää lämmöneristysvaatimuksen.

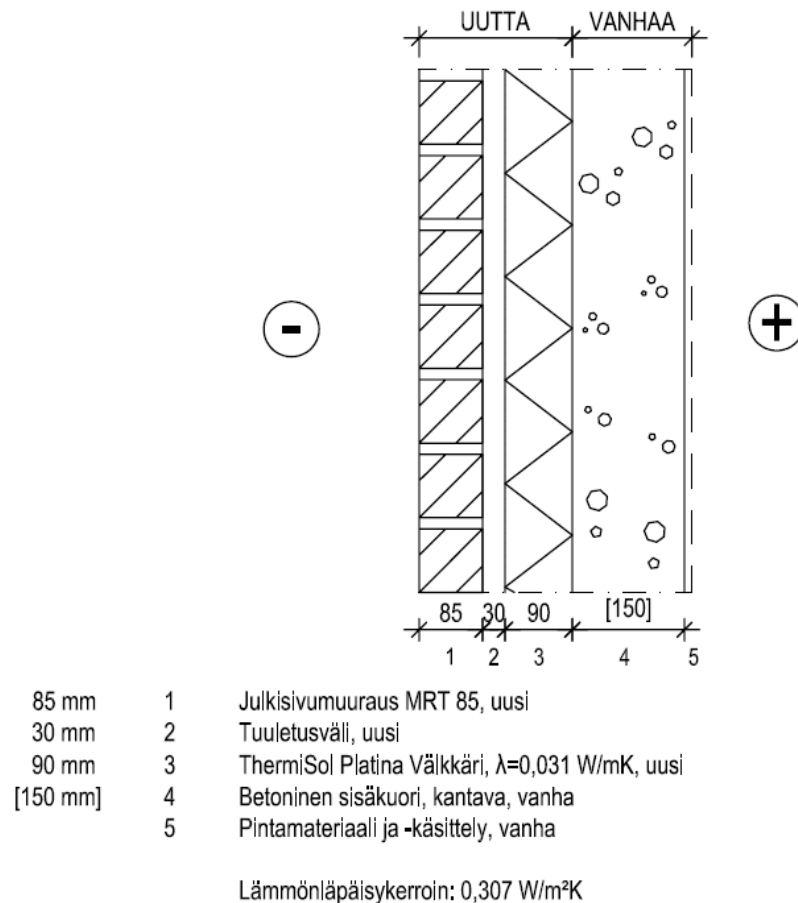
4.1.3 Päädyt US3

Päädyissä on rakenteena kantava betoninen sisäkuori, jonka paksuus on 150 mm, lämmöneriste, tuuletusväli ja julkisivumuuraus.

Betonin lämmönjohtavuus on sama kuin aiemmin eli 1,7 W/mK, mutta ulkopuolen pintavastus on rakenteessa olevasta tuuletusvälistä johtuen 0,13 m²K/W Suomen rakentamismääräyskokoelman osan C4 mukaisesti. Rakenteiden U-arvot on laskettu sisäpuolelta tuuletusväliin asti, koska tuuletusväliä ja sen jälkeen olevia rakenteita ei saa laskea mukaan rakenteen kokonaislämmönvastukseen, kun tuuletusväli on hyvin tuulettuva.

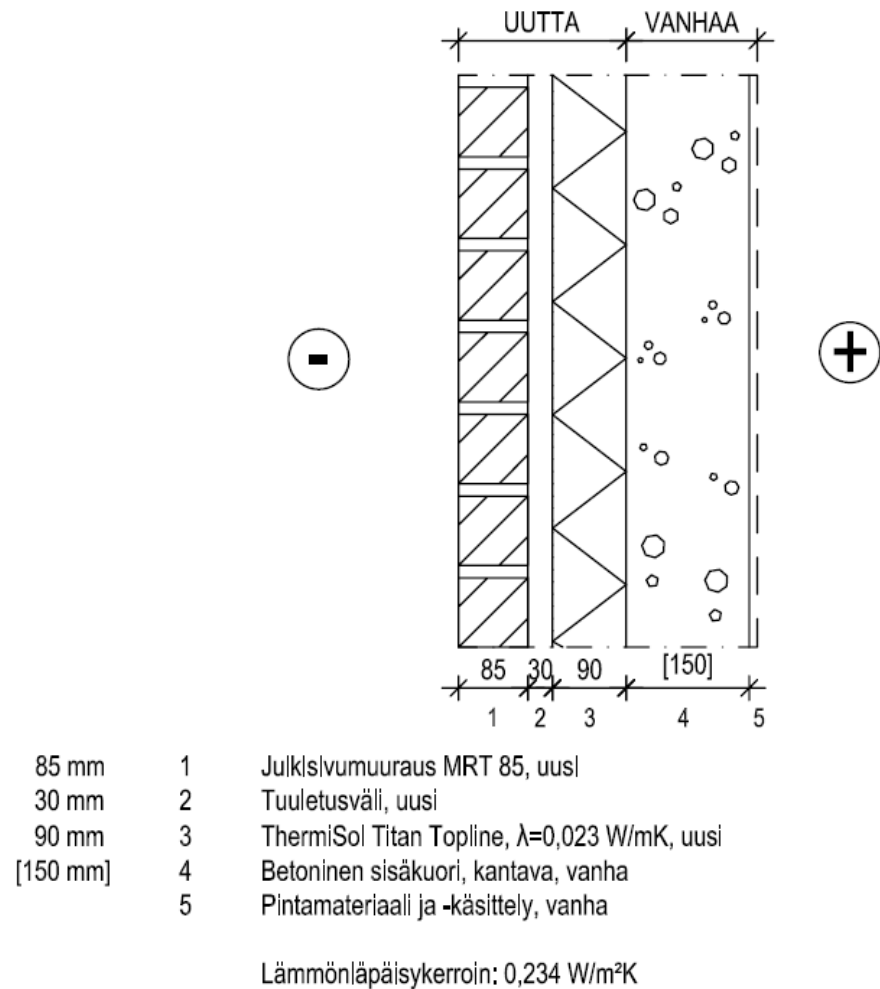
Hyvin tuulettuvassa tuuletusvälissä siihen johtavien aukkojen yhteenlaskettu koko on suurempi kuin 15 cm²/m, kun tarkastellaan pystyrakenteita /4, s.17/. Julkisivumuuraukseen jätetään vähintään ensimmäisen tiilikerroksen joka kolmas pystysauma avonaiseksi tuuletusaukoksi. Tällöin sauman leveyden ollessa 20 mm ja käytettäessä moduulireikätiiltä, jonka korkeus on 85 mm ja pituus on 285 mm, tuuletusaukkojen yhteenlaskettu pinta-ala 19 cm²/seinämetri, kun tuuletusaukkojen väli on 0,895 m. Ja jos tuuletusaukkoja on kahdessa alimmassa tiilikerroksessa, aukkojen yhteenlaskettu pinta-ala on 38 cm²/seinämetri.

Tutkittavia rakennetyyppejä on neljä erilaista.



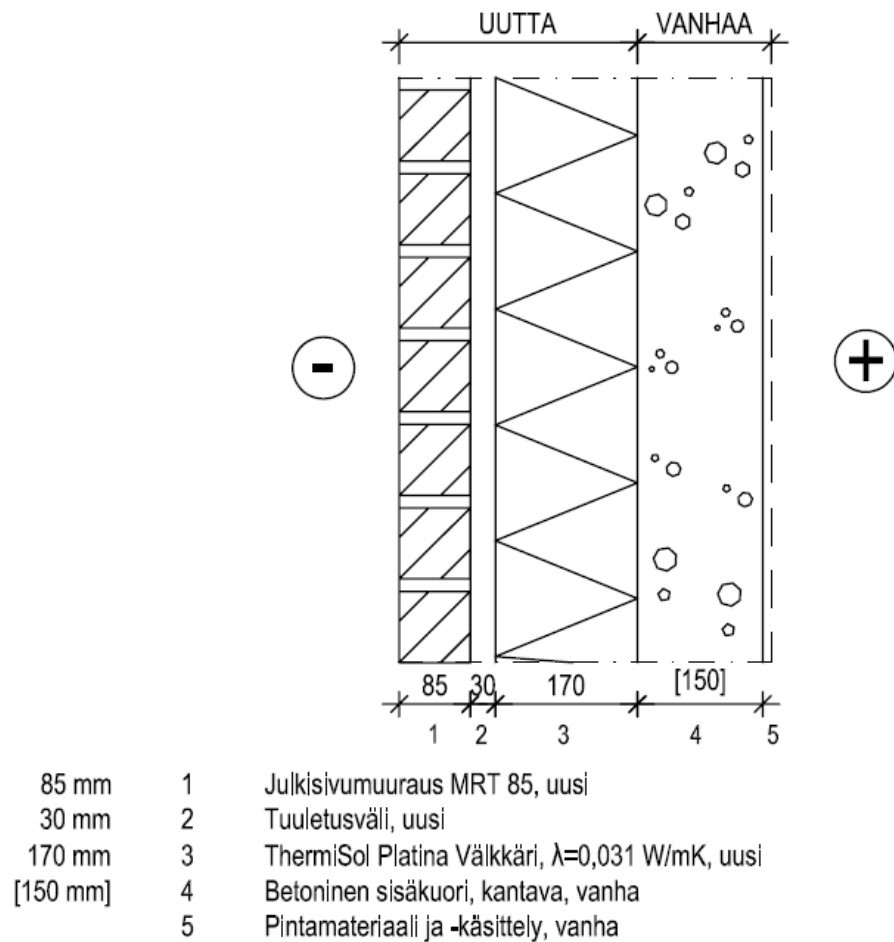
Kuva 14. Ensimmäinen tutkittava rakennetyyppi, US3a.

Ensimmäisessä vaihtoehdossa, US3a, (kuva 14) on vanhan lämmöneristeen paksuuden verran ThermiSol Platina Vällkäri -lämmöneristettä, jonka lämmönjohtavuus on $0,031$ W/mK. ThermiSol Platina Vällkäri -lämmöneristettä voidaan käyttää tuulettuvassa rakenteessa, sillä siinä on eristeen pinnalla palosuojapäällyste. Rakenteen U-arvo on $0,307$ W/m²K.



Kuva 15. Toinen tutkittava rakennetyyppi, US3b.

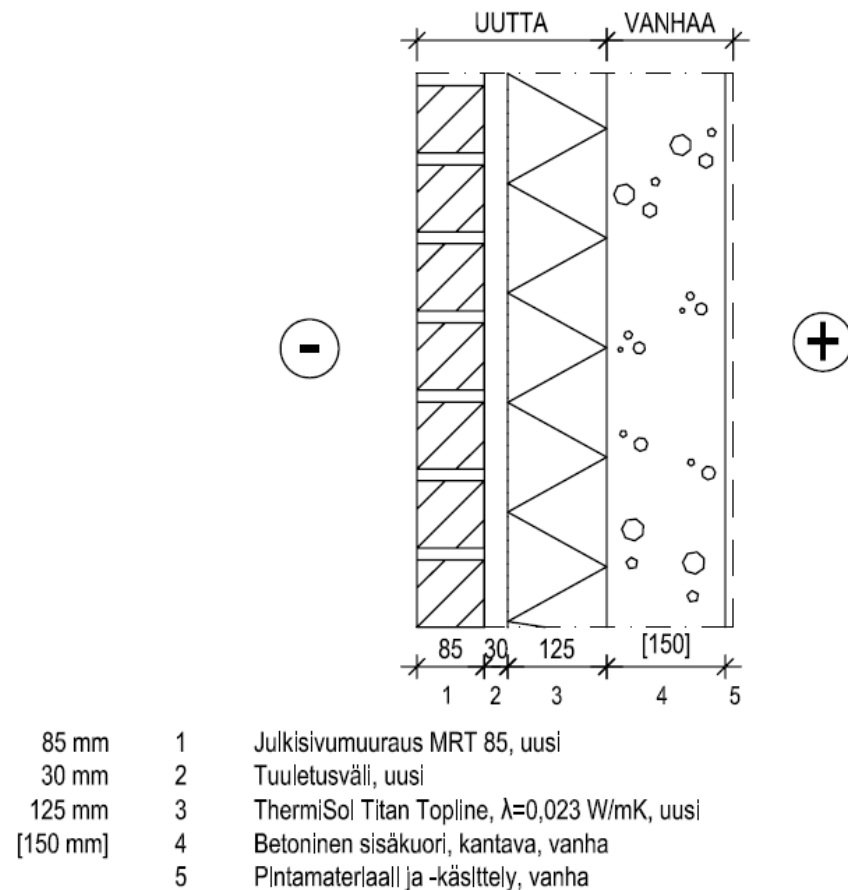
Toisessa vaihtoehdossa, US3b, (kuva 15) on myös vanhan lämmöneristeen paksuuden verran ThermiSol Titan Toplevel -lämmöneristettä. Sen lämmönjohtavuus on 0,023 W/mK. Rakenteen U-arvo on 0,234 W/m²K.



Lämmönläpäisykerroin: $0,171$ W/m²K

Kuva 16. Kolmas tutkittava rakennetyyppi, US3c.

Kolmannessa vaihtoehdossa, US3c, (kuva 16) tutkitaan lämmöneristysmääräysten mukaisen U-arvon $0,17$ W/m²K vaatimaa lämmöneristeen paksuutta, kun lämmöneristeenä on lämmönjohtavuudeltaan $0,031$ W/mK oleva ThermiSol Platina Valkkari. Rakenteeseen vaadittava lämmöneristeen vähimmäispaksuus on 167 mm, järkevintä lienee kuitenkin käyttää 170 mm paksua lämmöneristettä, jolloin U-arvo on $0,171$ W/m²K.



Lämmönläpäisykerroin: $0,172 \text{ W/m}^2\text{K}$

Kuva 17. Neljäs tutkittava rakennetyyppi, US3d.

Neljännessä vaihtoehdossa, US3d, (kuva 17) on sama lämmöneristysvaatimus, kuin neljännessä vaihtoehdossakin eli $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$. Lämmöneristeenä on kuitenkin ThermiSol Titan Topline, jonka lämmönjohtavuus on $0,023 \text{ W/mK}$. Lämmöneristeen vähimmäispaksuus on 124 mm , suositeltavaa on kuitenkin käyttää 125 mm paksua lämmöneristettä, jolloin rakenteen U-arvo on $0,172 \text{ W/m}^2\text{K}$.

4.2 Tutkittavat detaljit uusilla rakennetyypeillä

Tutkittavat detaljit on muodostettu uusien rakennetyyppien pohjalta. Detaljeissa ei ole tutkittu rakennetyypeissä olevien saman paksuisten, mutta eri lämmönjohtavuuksien omaavien lämmöneristeiden vaikutusta detaljien toimintaan, koska saman paksuiset lämmöneristeet antaisivat likimain saman lopputuloksen vaikka niillä on hieman erilainen lämmönjohtavuus..

4.2.1 Ikkunaliittymä

Rakennuksen ikkunaliittymiä tutkittaessa joudutaan tekemään joitakin oletuksia, esimerkiksi ikkunan kiinnityksestä rakenteisiin. Rakennuksen ikkunaliittymissä on todennäköisesti käytetty apukarmia, johon ikkunat on kiinnitetty ja jonka paksuus on todennäköisesti lämmöneristeen paksuus eli 90 mm.

Julkisivukorjauksen ja ikkunoiden vaihdon yhteydessä tarkistetaan vanhojen apukarmien kunto ja ne uusitaan mahdollisesti samankokoisilla apukarmeilla tai ikkunoiden kiinnitys järjestetään muulla soveltuvalla tavalla.

Uusien ikkunaliittymien tutkimus on tehty osittain vanhan rakenteen paksuisella lämmöneristepaksuudella ja osittain sillä periaatteella, että lämmöneristepaksuutta kasvatetaan vähintään vuoden 2010 alusta voimaan tulleiden lämmöneristysmääräysten mukaiseksi. Lisäksi ikkunat uusitaan, jolloin niiden paikka voidaan asettaa rakennusfysikaalisesti mahdollisimman hyvään kohtaan.

Uutta ikkunaliittymää suunniteltaessa joudutaan käyttämään uusia ikkunoita, joiden karmisyvyys on 130 mm, johtuen rakenteesta olevasta ei-kantavasta sisäkuoresta, joka on 70 mm paksu. Tällöin uusien ikkunoiden karmi voidaan laittaa 35 mm sisäkuoren sisäpinnasta ulospäin, eikä uusi karmi ylitä vielä vanhaa apukarmia. Tällä on oleellinen merkitys, koska apukarmin yläpuolella olevasta vedeneristeestä (bitumikermi) saattaa valua seinärakenteen sisälle joutunutta vettä. Vedeneristeellä ohjataan mahdollinen vesi apukarmin ulkopuolelle. Bitumikermeillä ei ole vaikutusta paloluokitukseen, koska niiden määrä on vähäinen seinärakenteessa. Bitumikermien paloluokitus on $B_{ROOF}(t_2)$.

Ikkunaliittymien kohdalla lämmöneriste täytyy kiinnittää tarvittaessa kiinnityslaastin lisäksi mekaanisilla kiinnikkeillä lämmöneristeen kiinni pysymisen varmistamiseksi. Ikkunan ja rappauksen liitokset toteutetaan valitun ohut-rappausjärjestelmän mukaisesti, käyttäen siinä mahdollisesti olevia ikkunaprofiililistoja, joilla voidaan toteuttaa ikkunapielien liitokset siististi ja viimeistellyn näköisesti. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää erilaisia ikkunapieliin sopivia pellityksiä, joilla estetään veden pääsy rakenteiden sisälle.

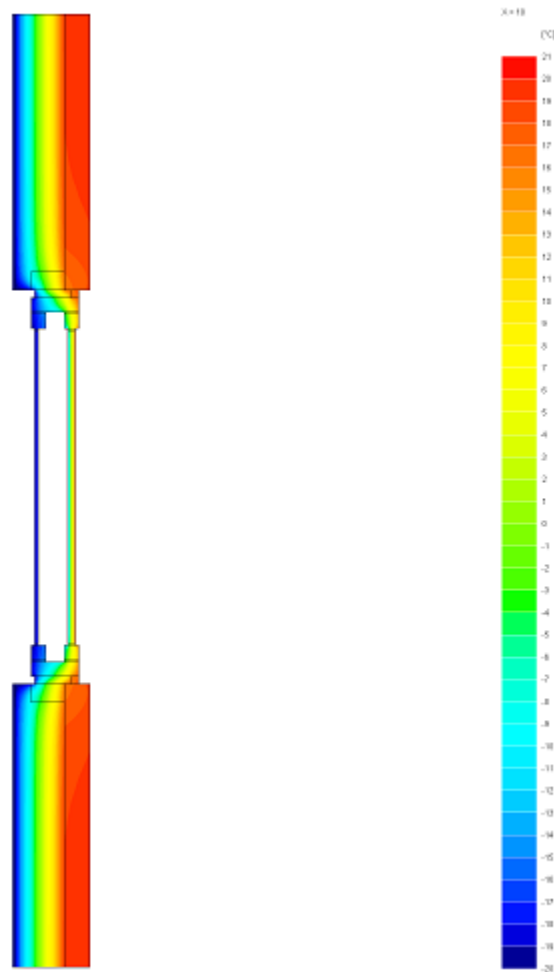
Ikkunan pellitykset toteutetaan Rakennustieto Oy:n siitä laatiman RT-ohjekortin 80-10632 mukaisesti. Ohjekortissa huomioidaan pellityksen riittävä kaato ja etäisyydet seinärakenteeseen. Ikkunapelti pitää työntää ikkunan

karmissa olevaan uraan vesitiiveyden varmistamiseksi. Ikkunapelti tulee olla 15 – 30 asteen kulmassa, jotta vesi valuu pellin päältä pois. Vesipelti täytyy tukea alapuolelta, jos ikkuna-aukon leveys on yli 1500 mm. Pellin alapuolelle asennetaan tiivistemassa estämään veden tunkeutuminen rakenteeseen alapuolelta.

Ikkunaliittymiä mallinnettaessa ikkunan karmina käytetään puukarmia, jonka lämmönjohtavuus on 0,12 W/mK ja asennustilan tilkkeenä käytetään mineraalivillaa, jonka lämmönjohtavuus on 0,036 W/mK sekä asennustilan sisäpuolelle tulevan tiivistemassan lämmönjohtavuutena käytetään arvoa 1,0 W/mK. Sisäpuolen lämpölasin lämmönjohtavuutena käytetään mallinnuksessa arvoa 0,14 W/mK ja ulkopuolen lasin lämmönjohtavuutena arvoa 2,5 W/mK. Mallinnuksessa käytetään tällöin Suomen rakentamismääräyskoelman mukaista ikkunarakennetta, jolla on U-arvo 1,0 W/m²K.

Liitteen 1 sivulla 1 on ikkunaliittymän periaatedetalji, kun eristepaksuutena käytetään vanhan lämmöneristeen ja ulkokuoren yhteispaksuutta. Lämmöneristeen paksuus on tässä tapauksessa 135 mm.

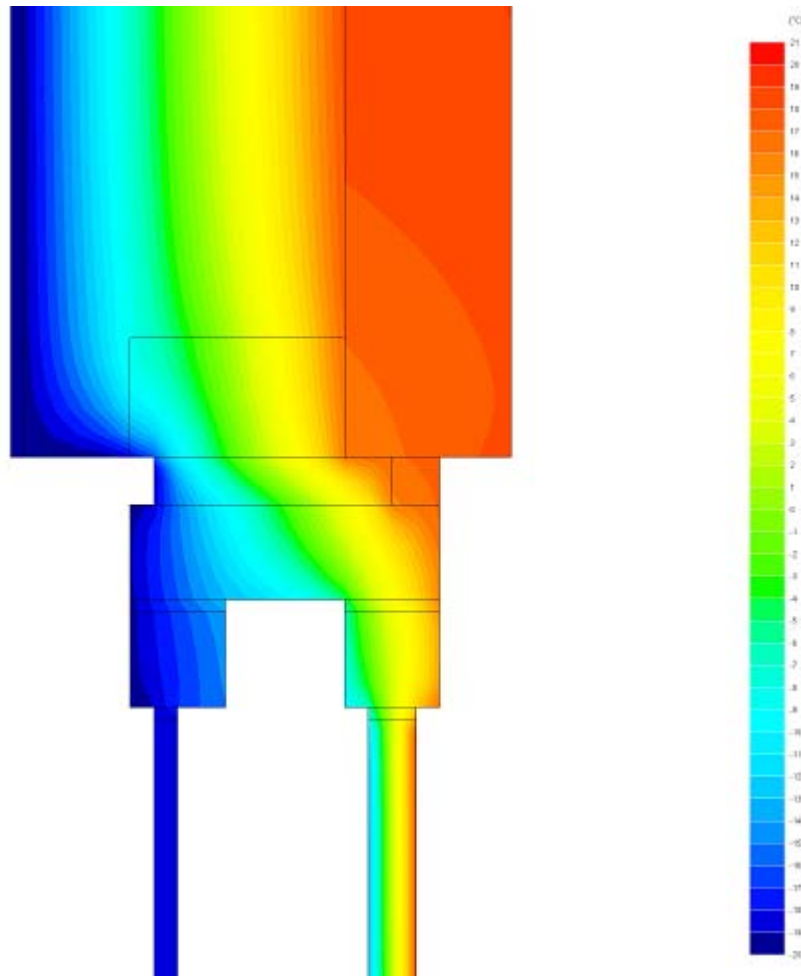
Tässäkin tapauksessa rakenteen lämmönläpäisykerroin paranee, koska rakenteessa on enemmän lämmöneristettä verrattuna vanhan lämmöneristeen paksuuteen, joka on 90 mm. Rakenteen U-arvo voi vaihdella välillä 0,178 – 0,272 W/m²K riippuen käytettävästä lämmöneristeestä.



Kuva 18. Lämpötilajakauma seinärakenteessa ikkunan kohdalla, kun lämmöneristeen paksuus on 135 mm.

Kuvassa 18 on ikkunaliittymän kohdalta hieman yksinkertaistettu malli seinärakenteen lämpötilajakaumista (liitteessä 5 on lämpötila-asteikko suurempana). Rakennetta on yksinkertaistettu mallinnuksen mahdollistamiseksi. Sisälämpötilana on +21 °C ja ulkolämpötilana -20 °C. Lämpötilajakauma on mallinnettu eristeellä, jonka lämmönjohtavuus on 0,039 W/mK. Mallinnusta ei ole syytä suorittaa erikseen eristeillä, joiden lämmönjohtavuus on parempi, koska rakenteen lämpötilajakauma asettuu likimain samaan kohtaan, kuin huonomman lämmönjohtavuuden omaavalla lämmöneristeelläkin.

Kuvassa 19 on samasta rakenteesta ikkunan yläreunan kohdalta lähikuva, josta nähdään lämpötilajakaumat tarkemmin. Kuvasta nähdään 0 °C:een rajan (vihreä alue) olevan lämmöneristeen kohdalla lämmöneristeen puolella välissä, jonka jälkeen raja siirtyy lähemmäksi sisäpintaa ikkunan kohdalla.



Kuva 19. Lämpötilat ikkunaliittymän yläosassa, kun lämmöneristeen paksuus on 135 mm.

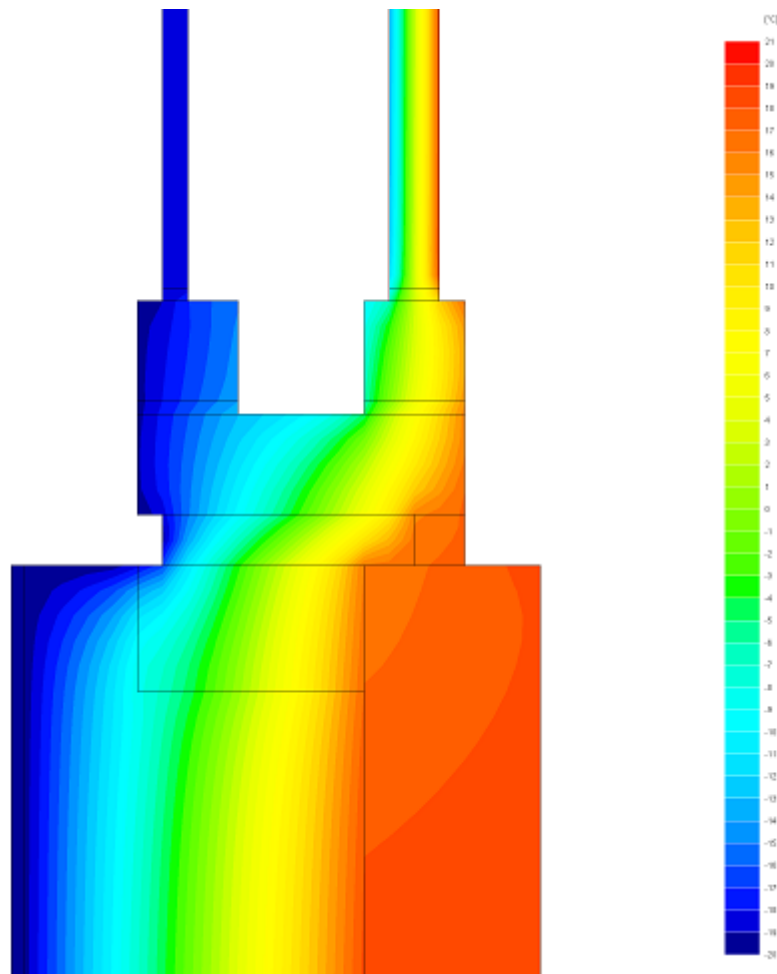
Kohdassa, jossa on betoninen sisäkuori, lämmöneriste ja ohutrappaus, ei tapahdu kosteuden kondensoitumista aikaisempien tutkimusten perusteella.

Ikkunan apukarmin kohdalla sisätiloista tuleva kosteus voisi tiivistyä betonisen sisäkuoren ja apukarmin väliin. Kuten kuvasta 19 havaitaan, lämpötila kyseisessä kohdassa on noin 14 °C, jolloin kondensoitumista ei todennäköisesti pääse tapahtumaan korkeahkosta lämpötilasta johtuen ja koska sisäkuoren betoni on pinnoitettu jollakin maalilla, joka estää kosteutta pääsemästä rakenteen sisälle suuria määriä.

Ikkunan asennusraon tilkitsemisellä ja sisäpuolisella tiivistemassalla estetään kosteuden pääseminen asennusrakoon, jolloin sielläkään ei pääse tapahtumaan kondensoitumista.

Kuvassa 20 on saman ikkunaliittymän ikkunan alareunan lämpötilajakauma. Lämpötilan 0 °C:een raja kulkee melko samalla tavalla rakenteessa, kuin ikkunan yläreunassakin.

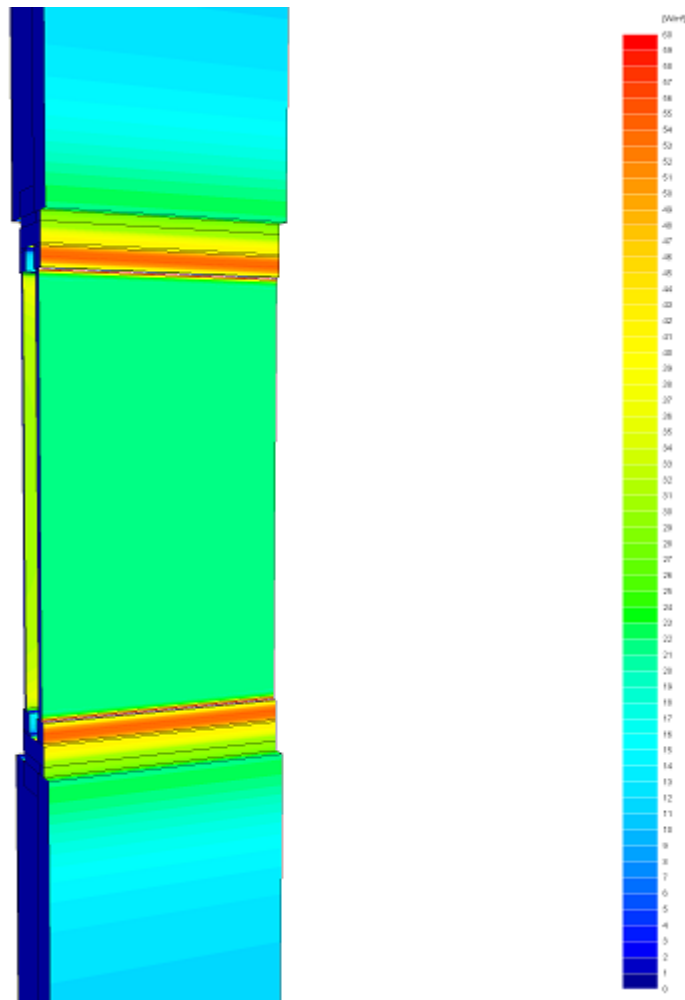
Ikkunan alareunan rakenteessa on samat kohdat kuin ikkunan yläreunan rakenteessakin, joihin kosteutta voisi kondensoitua, mutta kuten edellä todettiin, näin ei ole.



Kuva 20. Lämpötilat ikkunaliittymän alaosassa, kun lämmöneristeen paksuus on 135 mm.

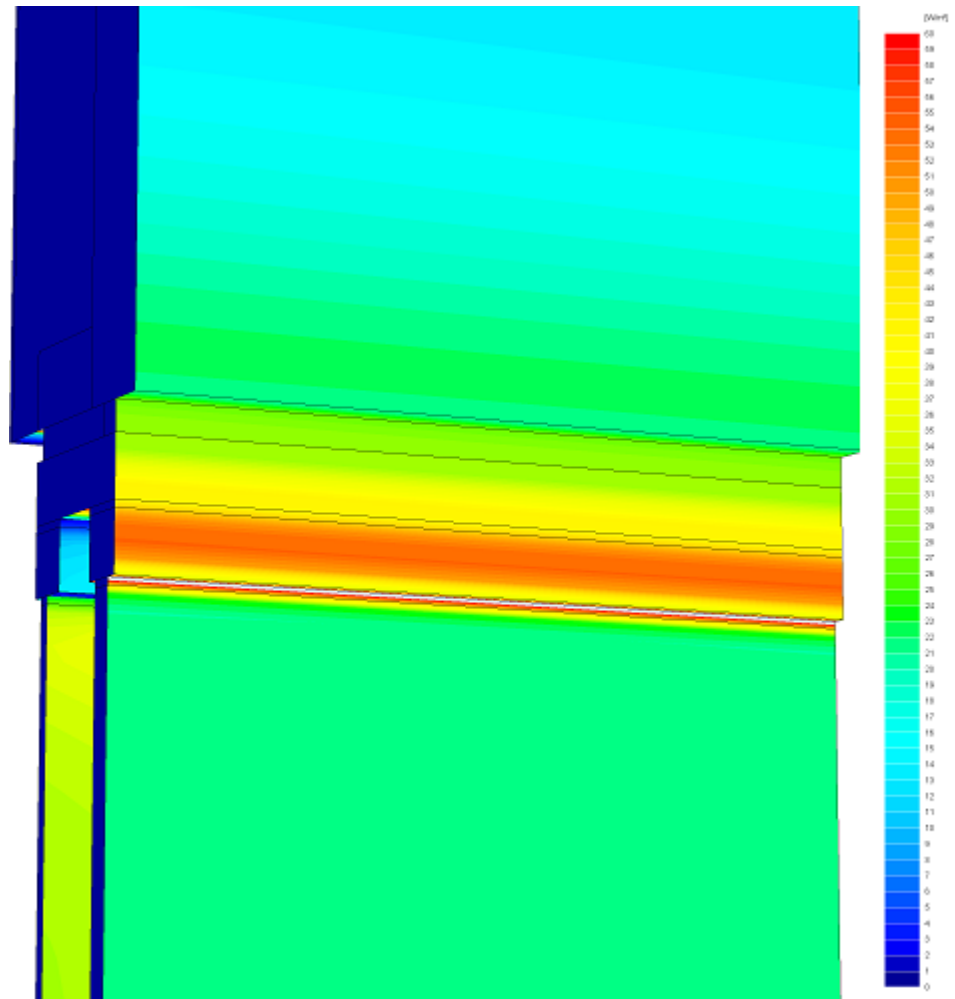
Kuvassa 21 on ikkunaliitoksessa olevat lämpövirrat sisältä päin katsottuna, jotka menevät rakenteen lävitse. Lämmöneristeen paksuus seinässä on 135 mm ja sen lämmönjohtavuus on $0,039 \text{ W/m}^2\text{K}$. Lämpövirroista nähdään rakenteen kylmimmät kohdat, joista menee eniten lämpöä lävitse. Kuvassa on merkitty eniten lämpöä läpäisevät kohdat punaisella ja vähiten lämpöä läpäisevät kohdat sinisellä.

Kuten kuvasta 21 voidaan havaita, eniten lämpöä menee lävitse ikkunan karmirakenteesta. Toiseksi eniten lämpöä menee ikkunalasin lävitse ja vähiten itse seinärakenteen lävitse.



Kuva 21. Lämpövirta ikkunarakenteessa sisäpuolelta, kun lämmöneristeen paksuus on 135 mm.

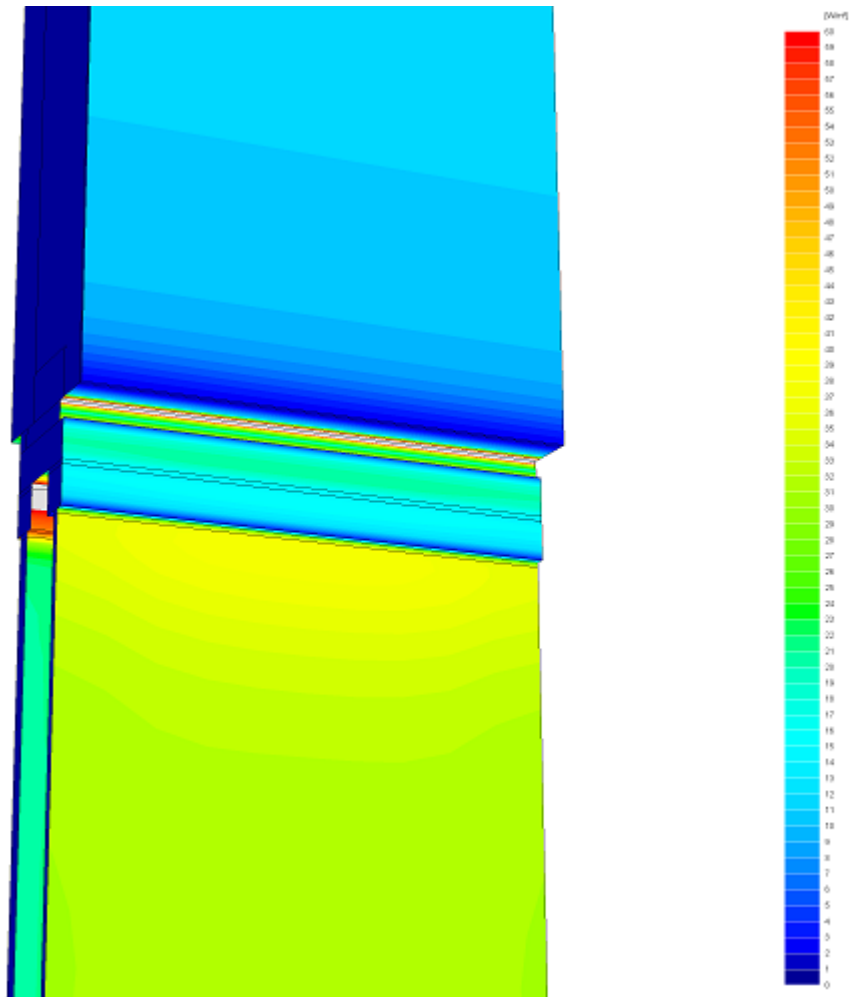
Kuvassa 22 on saman ikkunarakenteen yläreunan lämpövirrat lähempää tarkasteltuna. Karmirakenteesta menevä lämpövirta on luokkaa 50 W/m^2 , kun seinärakenteen kohdalta menevä lämpövirta on noin 15 W/m^2 . Eli ikkunan karmirakenteesta menee yli kolminkertainen määrä lämpöä seinärakenteeseen verrattuna.



Kuva 22. Lämpövirta ikkunarakenteen yläosassa sisäpuolelta, kun lämmöneristeen paksuus on 135 mm.

Kuvassa 23 on saman ikkunarakenteen lämpövirta ulkoa päin katsottuna. Eniten lämpöä pääsee ikkunan apukarmirakenteen lävitse viistosti ulos, koska siinä kohdassa on vähiten lämmöneristettä. Puinen apukarmi toimii kuitenkin myös lämmöneristeenä, mikä pienentää rakenteen lävitse menevää lämpövirtaa. Toiseksi eniten lämpöä menee ikkunalasin lävitse.

Ikkunaliitoksen ylä- ja alareunassa olevan lämmöneristeen kulmissa on tummansiniset kohdat, jotka ovat myös ikkunarakenteen kylmimmät kohdat, kuten kuvista 18 - 20 voidaan havaita. Lämmöneristeen ulkokulma on kylmin kohta, koska ulkoilman lämpö voi vaikuttaa kulmaan kahdelta sivulta, jolloin siitä tulee kylmä. Lämpövirran kannalta kulman kohdasta pääsee vähiten lämpöä lävitse.



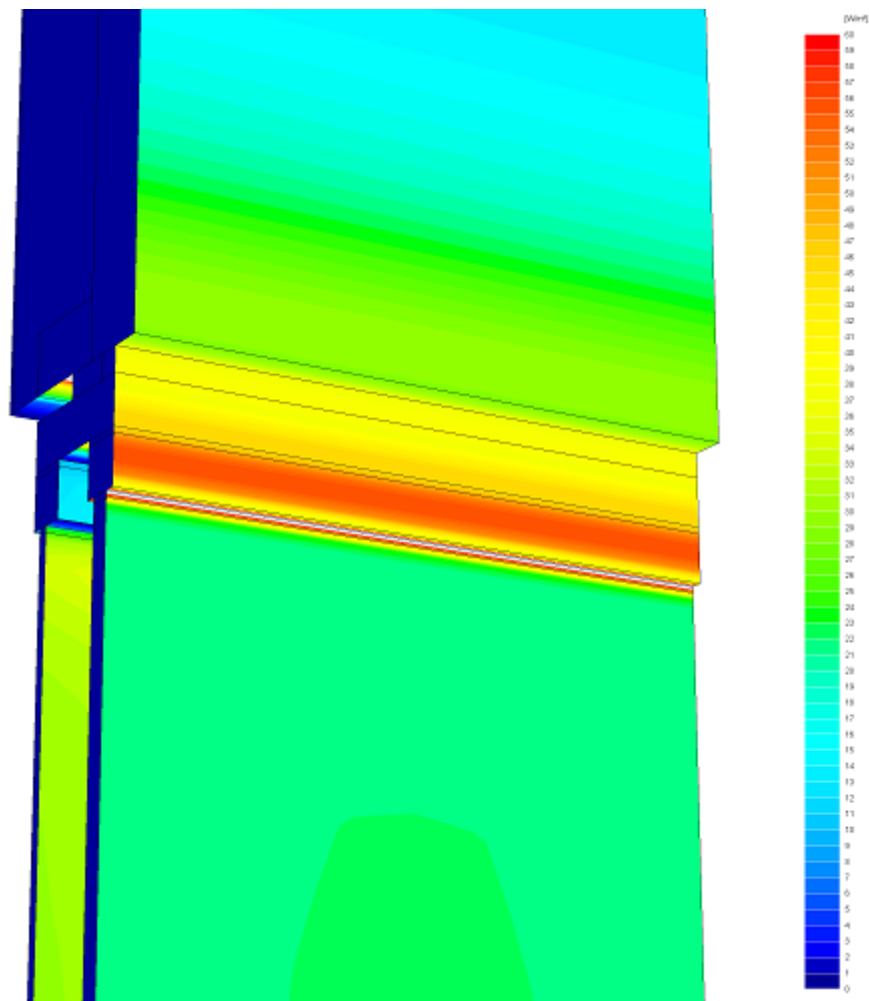
Kuva 23. Lämpövirta ikkunarakenteessa ulkoa päin katsottuna, kun lämmöneristeen paksuus on 135 mm.

Lämpövirran suuruudessa täytyy kuitenkin huomioida se, että ikkunarakenteen mallinnus on tehty hieman yksinkertaistaen, jolloin karmirakenteen lävitse menevä lämpövirta voi olla pienempikin.

Joka tapauksessa ikkunan asennusraon tilkitsemisen huolellisuudella on vaikutus asennusraon kohdalta menevän lämpövirran suuruuteen, Kuvassa 22 tilke on asennettu huolellisesti koko karmin leveydelle ja tilkkeen kohdalta menevä lämpövirta on noin $32 - 34 \text{ W/m}^2$. Kuvassa 24 on muuten sama ikkunarakenne, mutta asennusraon tilke on asennettu huolimattomasti ja se on vain puolet huolellisen asennuksen tilkemäärästä. Näin ollen asennusraon kohdalta lämpövirtakin on suurempi, noin $38 - 40 \text{ W/m}^2$.

Huolimattomalla tilkkeen asennuksella voidaanakin aiheuttaa vedon tunnetta ikkunan läheisyydessä. Tällöin asennustilaan pääsee ulkoilmaa, joka vähintään viilentää rakenteita tai se saattaa aiheuttaa ilmavuotoja rakenteen lävitse, jos sisäpuolinen tiivistemassakin on asennettu huolimattomasti. Täytyy

kuitenkin muistaa, että ikkunan kohdalta seinärakenne on aina kylmempi, jolloin ikkunan muuta ympäristöä kylmempi pinta itsessään saattaa aiheuttaa jo vedon tunnetta, vaikka asennusraon tilkkeet olisikin asennettu huolellisesti.

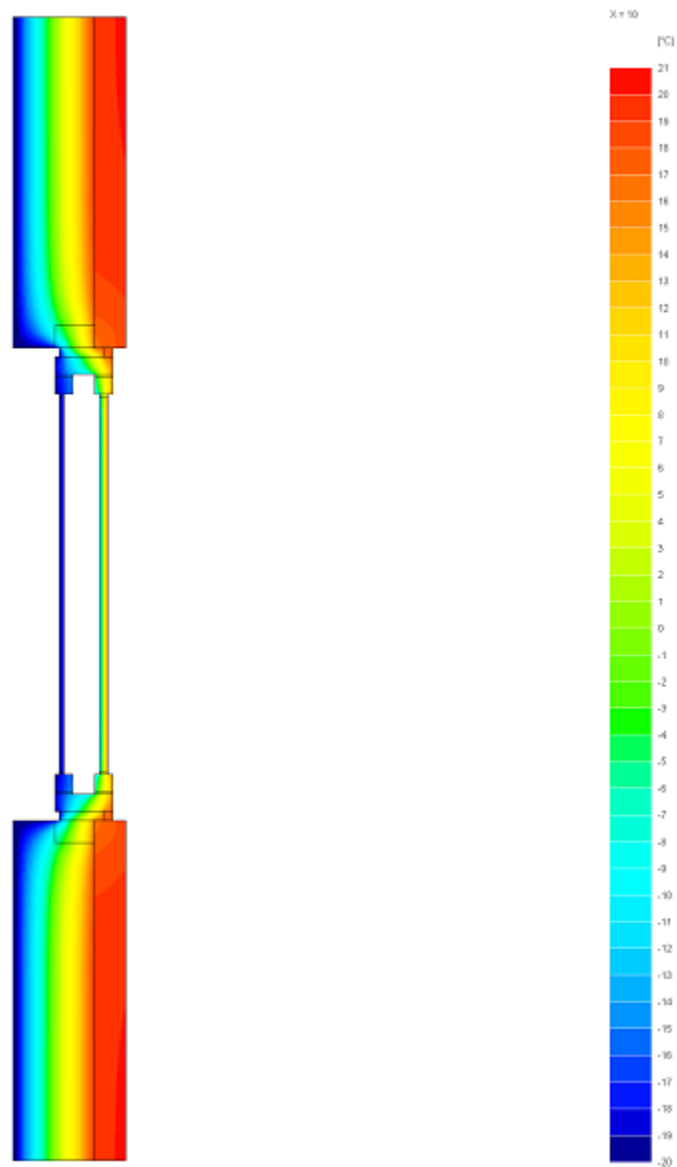


Kuva 24. Lämpövirta seinärakenteessa sisältäpäin katsottuna, kun lämmöneristeen paksuus seinässä on 135 mm ja ikkunan tilke on asennettu huolimattomasti.

Liitteen 1 sivulla 2 on ikkunaliittymän periaatedetalji käyttäen lämmöneristeen paksuutena koko rakenteen lämmönläpäisykertoimen arvoa $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$. Tällöin lämmöneristeen paksuus on 180 mm. Detalji ei juuri eroa edellisestä tapauksesta, jossa on 135 mm lämmöneristettä. Erona on lähinnä eristepaksuus, jonka takia ikkuna jää hieman syvennykseen seinän sisälle. Ikkunan vesipellin pituutta joudutaan hieman kasvattamaan, mutta muutoin rakenne voidaan toteuttaa samalla tavalla kuin ohuemmankin lämmöneristeen tapauksessa.

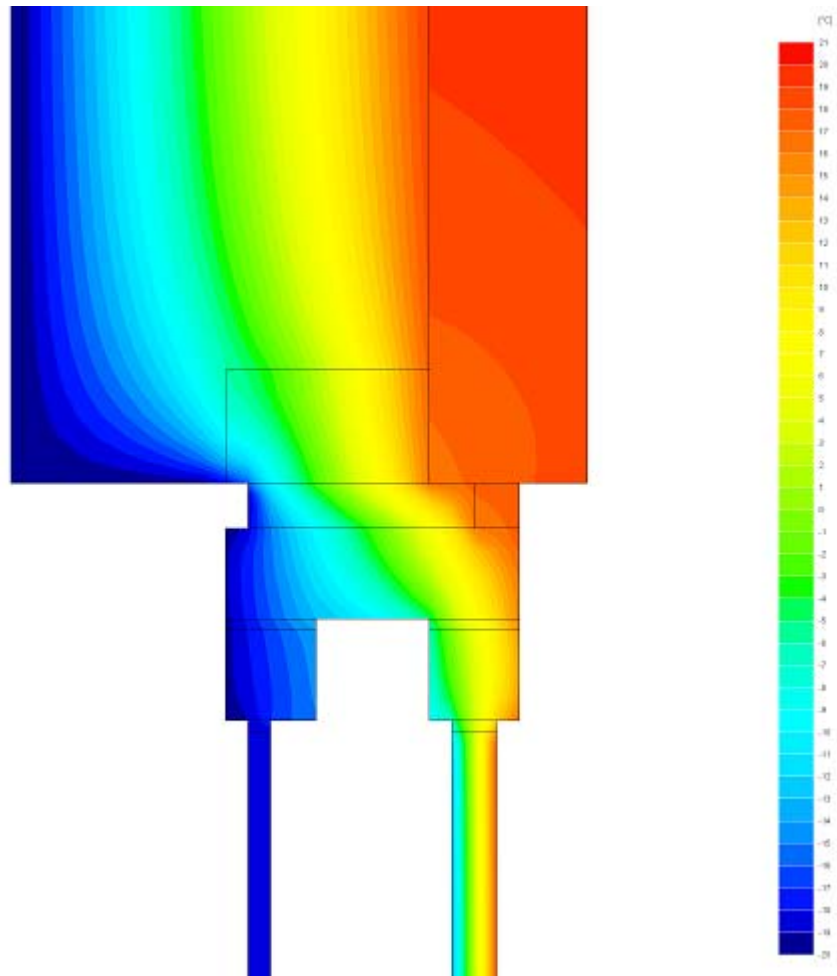
Kuvassa 25 on lämpötilajakauma ikkunaliitoksen kohdalta, kun lämmöneristeen paksuus on 180 mm ja lämmöneristeen lämmönjohtavuus on $0,031$

W/mK. Lämpötilajakauma on hyvin samanlainen kuin ohuemmankin lämmöneristeen tapauksessa.



Kuva 25. Ikkunaliitoksen lämpötilajakauma rakenteessa, kun lämmöneristeen paksuus on 180 mm.

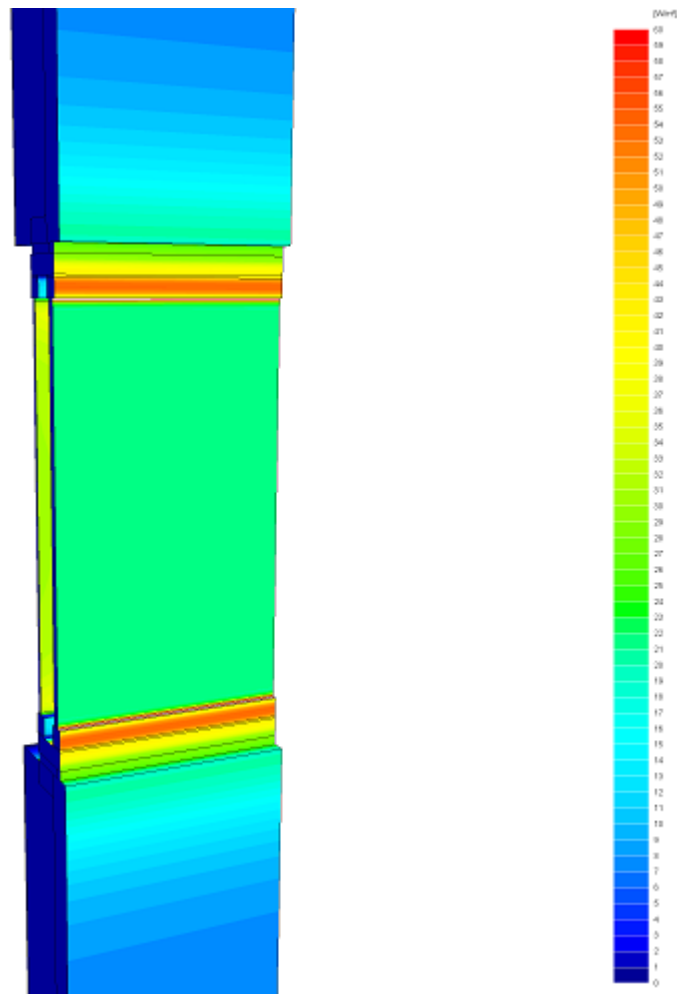
Kuvassa 26 on saman ikkunaliitoksen yläreuna kuvattuna lähempää tarkastelua varten. Ikkunan apukarmin kohdalla oleva 0 °C:n lämpötilaraja on hieman lähempänä ulkopintaa. Eli apukarmista on suurempi osa lämpimämpää kuin ohuemman lämmöneristeen tapauksessa, mikä pienentää kosteuden kondensoitumisriskiä rakenteen sisälle.



Kuva 26. Ikkunaliitoksen yläreunan lämpötilajakauma, kun lämmöneristeen paksuus on 180 mm.

Paksumpi lämmöneriste pitää myös betonisen sisäkuoren kulmat ikkunan ympärillä hieman lämpimämpänä, millä on suotuisa vaikutus asumisviihtyvyyden kannalta.

Kuvassa 27 on ikkunaliitoksen lämpövirrat, kun lämmöneristeen paksuus on 180 mm. Kuvasta voidaan havaita lämpövirran pienentyminen seinärakenteen kohdalla verrattuna ohuemman lämmöneristeen tapaukseen (kuva 21), mikä oli täysin odotettavissa paremmasta lämmöneristeestä johtuen.



Kuva 27. Ikkunaliitoksen lämpövirrat sisältä päin katsottuna, kun lämmöneristeen paksuus on 180 mm.

Ikkunarakenteen kohdalta lämpövirrat ovat aivan yhtä suuret kuin ohuemman lämmöneristeen tapauksessa. Ikkunan ympärillä olevan betonisen sisäkuoren kulmista ei tosin mene yhtä paljon lämpöä lävitse.

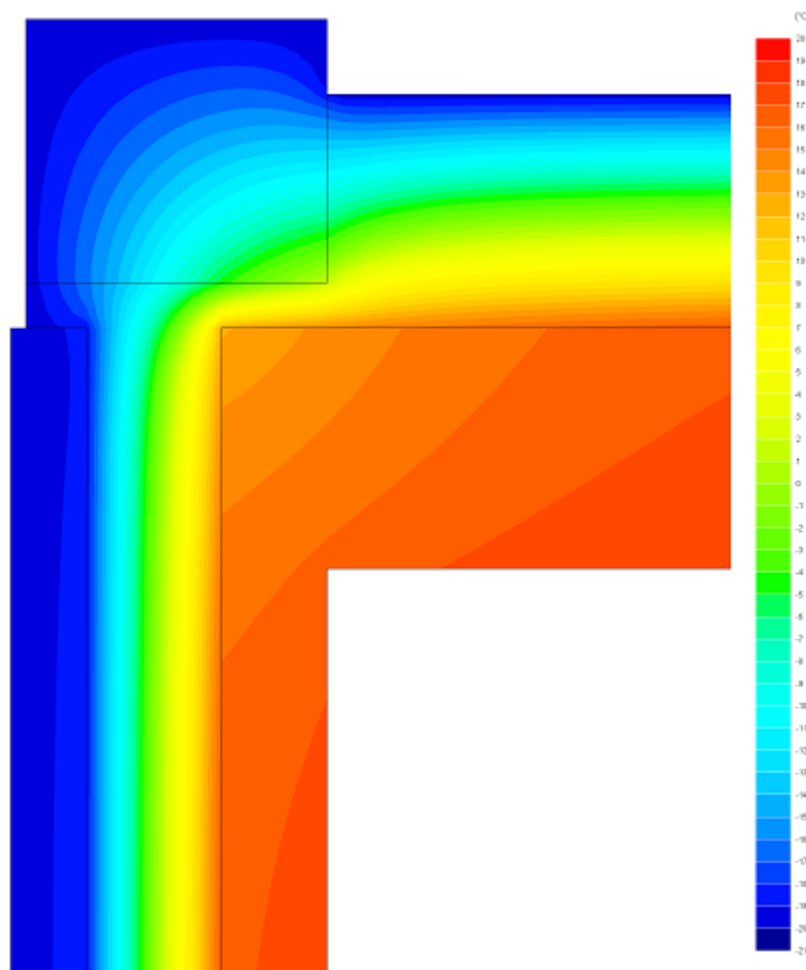
Jos ikkunan kohdalta menevää lämpövirtaa halutaan pienentää, niin vaihtoehtona on lähinnä paremman U-arvon omaavan ikkunan asentaminen ja ikkunan asennusraon tilkitsemisen ja tiivistemassan asentamisen huolellisuus.

4.2.2 Yläpohjaliittymä

Vanha yläpohjaliittymä

Vanhan yläpohjaliittymän detali on esitetty liitteessä 2 sivulla 1. Vanhassa yläpohjaliittymässä on seinässä lämmöneristeenä 90 mm mineraalivillaa ja yläpohjassa on 150 mm paksu mineraalivillalämmöneristys, jonka ylempi kerros toimii lämmöneristyksen ohella tuulensuojana. Seinän ja yläpohjan

liittymäkulmassa on siporex-harkko, jolla on huonompi lämmönjohtavuus lämmöneristyksen kannalta kuin harkon ympärillä olevilla mineraalivilloilla.



Kuva 28. Vanhan yläpohjaliittymän lämpötilajakauma.

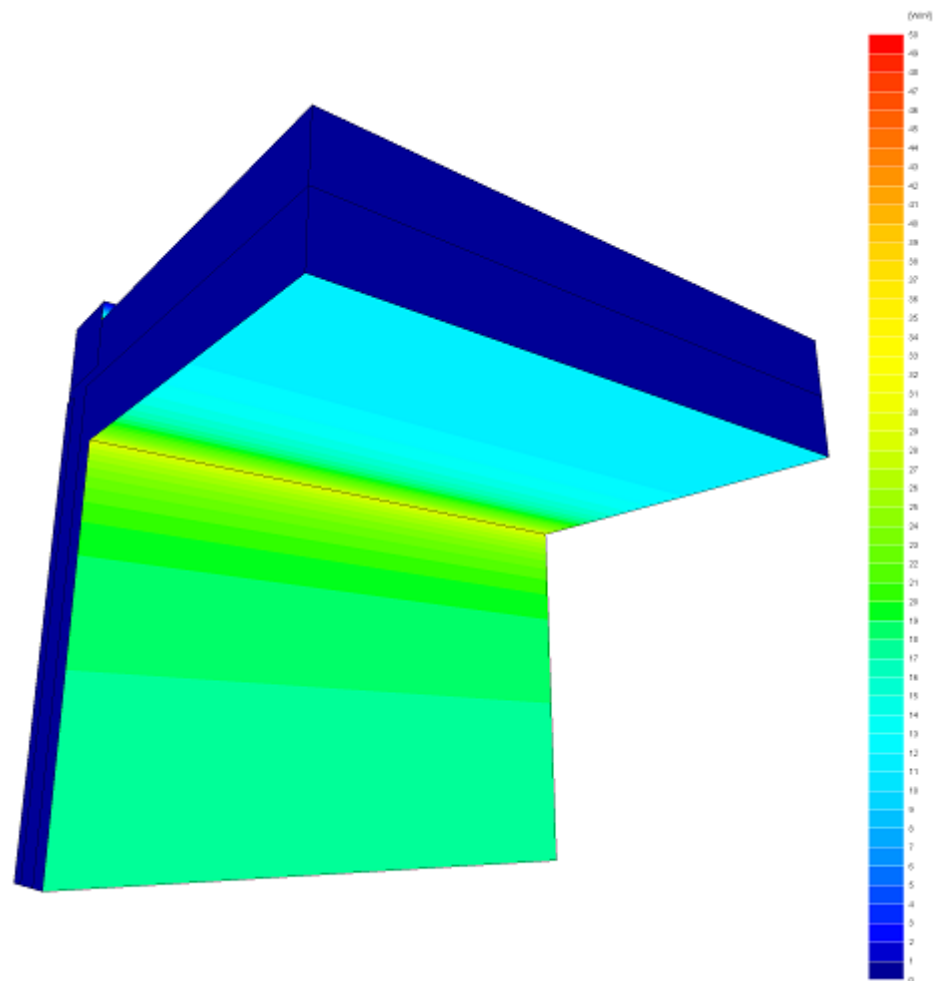
Kuvassa 28 on esitetty vanhan yläpohjaliittymärakenteen lämpötilajakauma. Sisätilan lämpötila on $+21\text{ °C}$ ja ulkolämpötila on -20 °C . Vanhan mineraalivillan lämmönjohtavuutena on käytetty arvoa $0,045\text{ W/mK}$ ja siporex-harkon lämmönjohtavuutena arvoa $0,14\text{ W/mK}$.

Kuvasta nähdään kuinka vanhojen lämmöneristeiden ja siporex-harkon yhteisvaikutus laskee sisäpintojen lämpötilaa rakenteen kulmassa. Ulkoseinän betoninen ulkokuori on käytännössä ulkolämpötilaa vastaavassa lämpötilassa. Samoin siporex-harkon lämpötila on lähes kokonaan 0 °C :n alapuolella.

Vaikka sisäpintojen lämpötila on rakenteen kulmassa alhaisempi kuin muualla, siitä ei aiheudu todennäköisesti minkäänlaista kondensoitumisriskiä. Betonisen sisäkuoren lävitse mineraalivillaan pääsevä kosteus pystyy nousemaan luonnollisen konvektion avulla siporex-harkon alle, jossa sillä on mah-

dollisuus kondensoitua harkon alapintaan harkon alhaisesta lämpötilasta johtuen. Kondensoitunut kosteus pääsee poistumaan lämpötilan noustessa harkon alla olevan mineraalivillan molemmilta puolilta ulkoilmaan, ellei harkon ympärille ole asennettu liian tiivistä materiaalia. Kosteudella on myös mahdollisuus poistua ulkoilmaan siporex-harkon lävitse. Tämän kondensoitumisriskin mahdollisuus tosin tarvitsee tarkempia tutkimuksia paikan päällä.

Muutoin vanha yläpohjaliittymärakenne on rakennusfysikaalisesti toimiva kokonaisuus, ellei siihen ole aiheutettu huolimattomasta lämmöneristysten asennuksesta tai siporex-harkkojen epätiiviyistä asennuksesta toisiinsa nähden johtuvia paikallisia alhaisempia lämpötiloja, joissa saattaa tapahtua kondensoitumista.



Kuva 29. Lämpövirta vanhassa yläpohjarakenteessa sisältä päin katsottuna.

Kuvassa 29 on esitetty vanhan yläpohjaliittymärakenteen lämpövirrat sisältä päin katsottuna rakenteen lävitse. Kuvasta voidaan havaita, että eniten lämpöä ($30\text{--}32\text{ W/m}^2$) menee kulman lävitse, joka onkin rakenteen kylmin kohta, kuten edellisestä lämpötilajakaumakuvasta näkyy. Myös seinän lävitse me-

nee yläpohjaan verrattuna lämpöä huomattavasti enemmän. Seinän lävitse menevän lämpövirran suuruus on noin $17 - 18 \text{ W/m}^2$, kun yläpohjan lävitse menee noin $13 - 15 \text{ W/m}^2$.

Uusi yläpohjaliittymä

Uutta yläpohjaliittymää suunniteltaessa joudutaan muuttamaan vanhoja rakenteita hieman. Ulkoseinäelementin päällä oleva siporex-harkko ja sen alla oleva mineraalivillasuikale poistetaan.

Lämmöneriste voi olla luvussa *4.4.1 Pitkät julkisivut* olevien rakennetyyppien mukainen lämmöneriste.

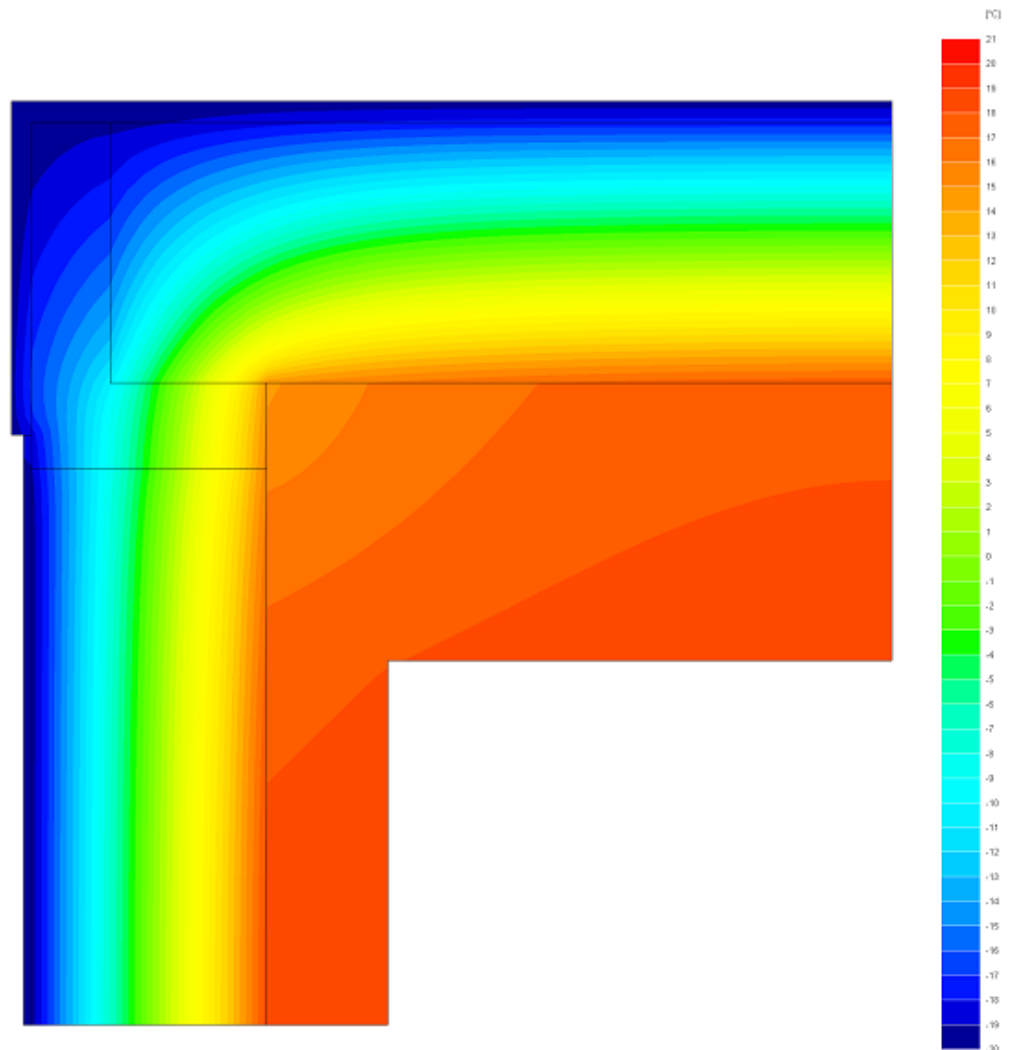
Jos pitkien julkisivujen lämmöneristeeksi valitaan 135 mm paksu eriste, niin seinän ja yläpohjan liittymä voidaan toteuttaa liitteessä 2 sivulla 2 olevan periaatedetaljin mukaisesti. Ohuemman lämmöneristeen tapauksessa rakenteita joudutaan muuttamaan vähäisissä määrin ja ne pystytään tekemään ulkoa päin purkamatta vanhaa vesikattoa, kunhan vanhat betoniset ulkokuoret on ensin purettu.

Betonisen sisäkuoren yläpinnan tasalle lisätään kiinnityspuu myrskyhaan ja pystyyn tulevan tuulensuojalevyn asennusta varten. Seinän uusi lämmöneriste alkaa heti tämän puusoiron alta. Soiron kiinnityksessä voidaan käyttää kulmarautoja alapuolella tai lattarautaa yläpuolella, koska soiro tukeutuu seinän lämmöneristeeseen. Vaakaan tulevan puusoiron päälle lisätään toinen puusoiro pystyyn, johon voidaan kiinnittää pystyyn tuleva tuulensuoja.

Yläpohjan vanhaa lämmöneristettä jatketaan pystyyn tulevaan puusoiroon asti. Lämmöneristeenä käytetään samaa eristettä kuin yläpohjan vanha eriste on. Lämmöneristeen päälle asennetaan noin metrin etäisyydelle räystäästä rakennuslevy estämään haitalliset ilmavirtaukset lämmöneristeessä. Tuulensuojalevy kiinnitetään kulmassa pystyssä olevaan puusoiroon.

Lisäksi kattopalkkien väleihin asennetaan hyönteisverkon kiinnityspuut, joihin voidaan kiinnittää hyönteisverkko estämään hyönteisten pääsy yläpohjaan. Hyönteisverkon alapää kiinnitetään tuulensuojalevyjen kulman alla olevaan puuhun kiinni ja varmistetaan, ettei hyönteisverkolla tukita tuuletusraon toimintaa.

Mahdollisen uuden samanmallisen sadevesikourun tuenta voidaan suorittaa käyttämällä samaa puusoiroa, missä on myrskypelti kiinni.



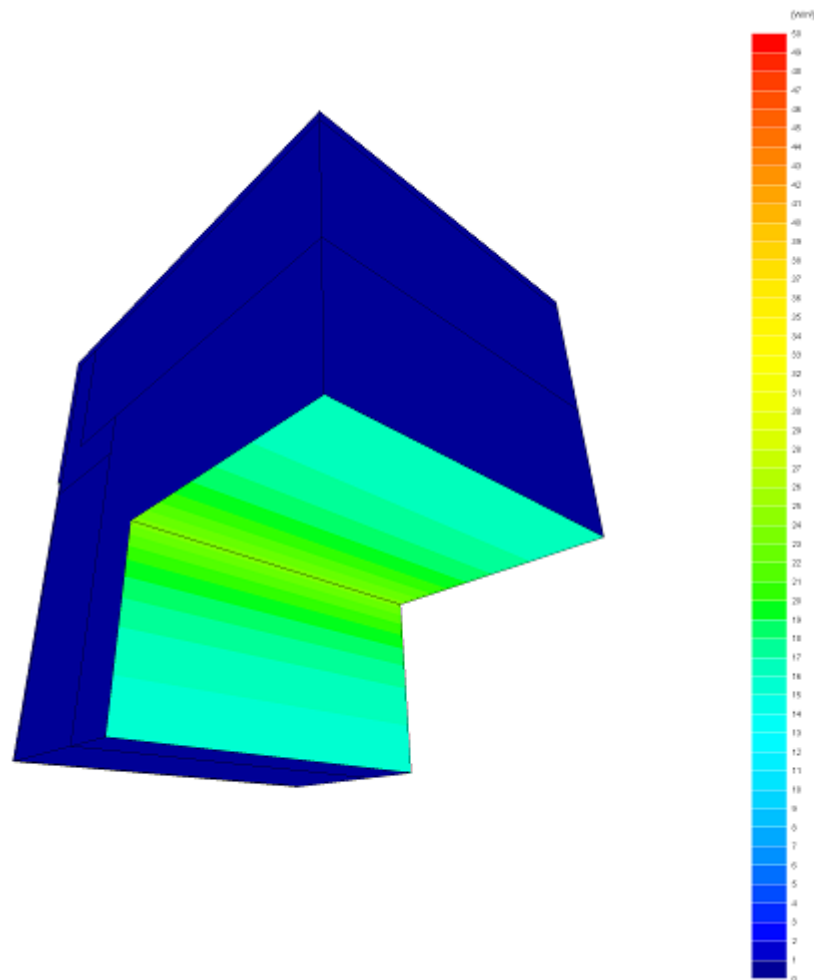
Kuva 30. Lämpötilajakauma yläpohjan ja seinän liitoksessa, kun lämmöneristeen paksuus on 135 mm.

Kuvassa 30 on yläpohjaliitoksen lämpötilajakauma, kun lämmöneristeen paksuus seinässä on 135 mm ja lämmöneristeen lämmönjohtavuus on 0,039 W/mK. Mineraalivillan lämmönjohtavuus on 0,040 W/mK. Sisälämpötila on + 21 °C ja ulkolämpötila - 20 °C.

Lämpötilan nollaraja kulkee lämmöneristeiden puolella välissä, kuitenkin kulman kohdalla raja tulee hieman lähemmäksi sisäkulmaa. Seinärakenne ja yläpohjarakenne toimivat kosteusteknisesti hyvin, kunhan tuulensuojalevynä ei käytetä liian tiivistä levyä.

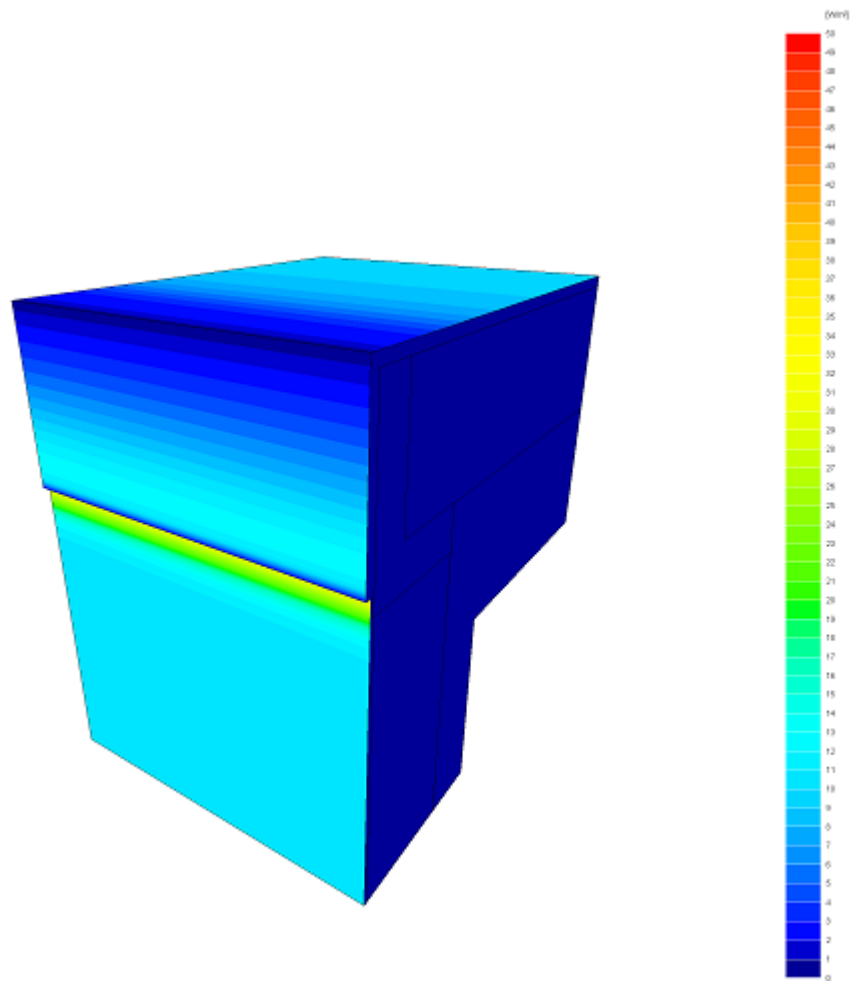
Ainoa kohta johon kosteutta voisi kondensoitua, on seinärakenteen lämmöneristeen päälle tulevan puusoiro alapinta. Jos seinän läpi tuleva koste-

us pääsee liikkumaan lämmöneristeessä ylöspäin, niin se saattaa kondensoitua puun alapintaan lähempänä ulkopintaa, jossa lämpötila on alle nollan asteen. Kosteuden liikkumista lämmöneristeessä ylöspäin ei kuitenkaan tapahdu Platina-, EPS- eikä PIR-eristeillä.



Kuva 31. Lämpövirta yläpohjarakenteessa sisältä päin katsottuna, kun lämmöneristeiden paksuus on 135mm.

Kuvassa 31 on yläpohjaliittymän lämpövirta sisältä päin katsottuna. Rakenteen suurin lämpövirta menee kulman lävitse, mikä oli odotettavissakin. Rakenteen kulmasta menevä lämpövirta on suuruudeltaan $24 - 26 \text{ W/m}^2$. Yläpohjan ja seinän lävitse menevien lämpövirtojen arvo on noin $13 - 15 \text{ W/m}^2$. Eli seinärakenteen paremmalla lämmöneristyksellä päästään suunnilleen samaan tasoon lämpövirtojen suhteen kuin yläpohjan vanhalla lämmöneristyksellä,

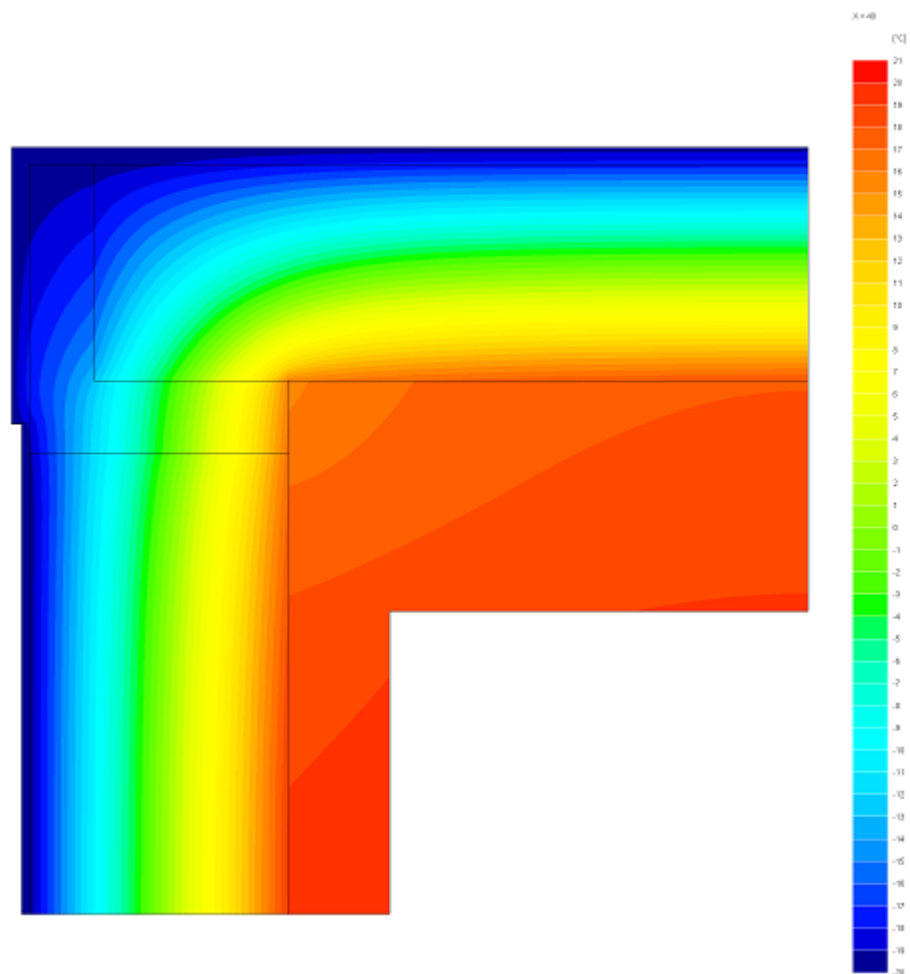


Kuva 32. Lämpövirta yläpohjarakenteessa ulkoa päin katsottuna, kun lämmöneristeen paksuus on 135mm.

Kuvassa 32 on yläpohjaliitoksen lämpövirta ulkoa päin katsottuna. Suurin lämpövirta ($32 - 33 \text{ W/m}^2$) rakenteen lävitse menee lämmöneristeen päällä olevan puusoiron lävitse. Tätä lämpövirtaa voidaan pienentää asentamalla kulmassa pystyyn tuleva tuulensuojalevy mahdollisimman alas myrskyhakaa vasten. Vaihtoehtoisesti voidaan mahdollisesti käyttää ohuempaa puusoiroa, jolloin sen kylmäsilta-vaikutus on pienempi.

Kun lämmöneristeen paksuus kasvaa yli vanhan seinärakenteen paksuuden (liite 2, sivu 3), niin vanhaa räystäsrakennetta joudutaan hieman levittämään. Levittäminen tapahtuu asentamalla vanhojen kattokannattajien kylkeen samankokoiset puusoivot, joilla kattoa voidaan pidentää tarvittava määrä. Samalla joudutaan jatkamaan vanhaa peltikattoa. Muutoin rakenne on hyvin samanlainen kuin edellä olevalla ohuemmallakin 135 mm:n lämmöneristeellä. Periaatedetaljissa, lämpötila- ja lämpövirtakuvissa on käytetty seinän lämmöneristeenä 180 mm paksua lämmöneristettä, mutta lämmöneristeen

paksuutta voidaan helposti hieman kasvattaa tai ohentaa detaljien siitä kuitenkaan oleellisesti muuttumatta.

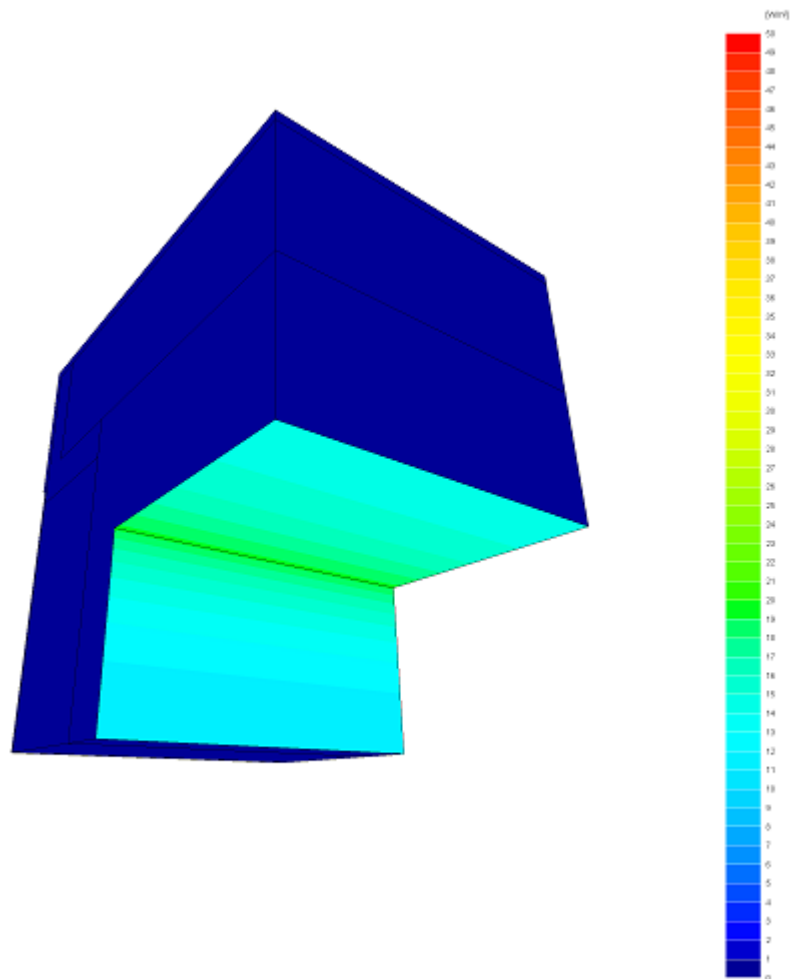


Kuva 33. Yläpohjaliittymän lämpötilajakauma, kun seinän lämmöneristeen paksuus on 180 mm.

Kuvassa 33 on yläpohjaliittymän lämpötilajakauma, kun seinän lämmöneristeen paksuus on 180 mm. Lämpötilajakauma on muuten samanlainen kuin ohuemmallakin lämmöneristeellä, mutta lämpötilan nollaraja on lähempänä rakenteen ulkopintaa seinärakenteen kohdalla. Seinärakenteen paremmasta lämmöneristepaksuudesta johtuen yläpohjan sisäkulmakin on lämpimämpi.

Tämä voidaan havaita paremmin kuvasta 34, jossa on yläpohjarakenteen lämpövirrat, kun lämmöneristeen paksuus on 180 mm. Verrattaessa ohuemman lämmöneristeen tapaukseen (kuva 31) lämpövirta kulmassa on pienentynyt arvosta 26 – 27 W/m² arvoon 18 – 19 W/m². Seinärakenteen lävitse menevä lämpövirta on noin 9 – 11 W/m² ja yläpohjan lävitse menevä lämpövirta on pysynyt samana kuin aiemmin, koska yläpohjan lämmöneris-

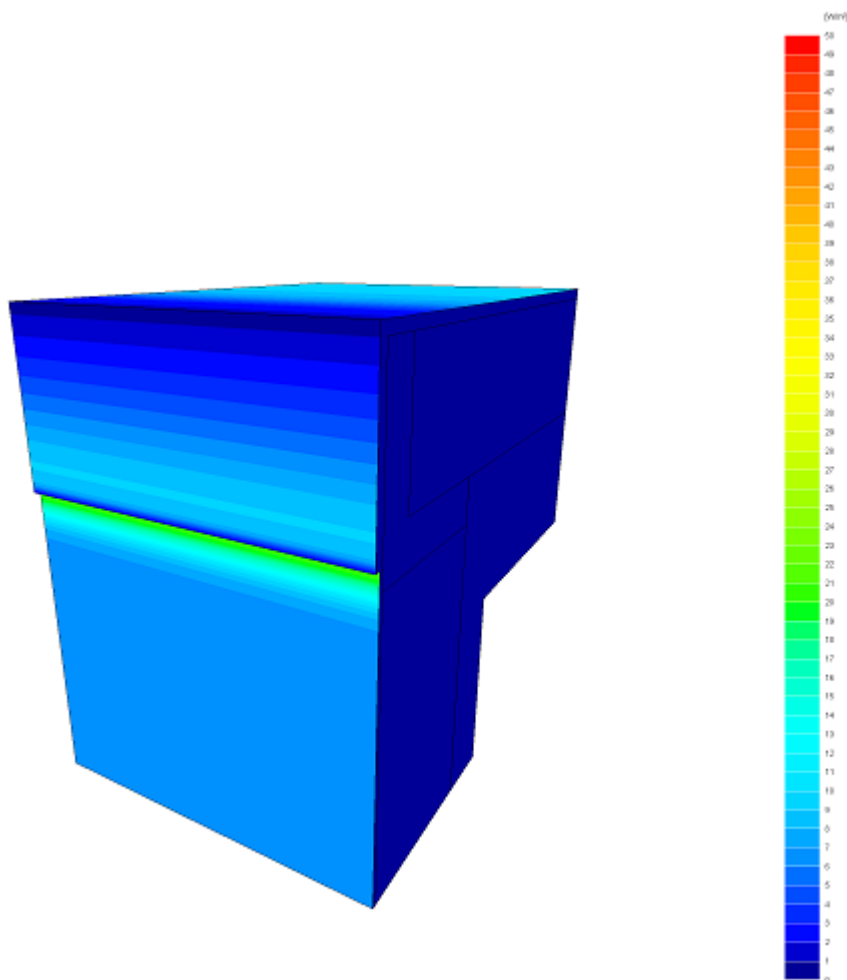
tystä ei ole parannettu. Lämpövirta yläpohjan lävitse on siis noin $13 - 15 \text{ W/m}^2$.



Kuva 34. Yläpohjaliittymän lämpövirrat sisältä päin katsottuna, kun seinän lämmöneristeen paksuus on 180 mm.

Seinän paremmalla lämmöneristyksellä on saatu lämpövirta pudotettua suunnilleen puoleen vanhan rakenteen lämpövirrasta, joka oli $17 - 18 \text{ W/m}^2$. Eli energiatalouden kannalta paremmalla lämmöneristyksellä saavutetaan huomattavia säästöjä.

Kuvassa 35 on yläpohjaliitoksen lämpövirrat ulkoa päin katsottuna, kun lämmöneristeen paksuus on 180 mm. Kuvasta voidaan havaita, että suurin lämpövirta rakenteen lävitse menee samasta kohtaa, kuin ohuemman seinän lämmöneristeen tapauksessa eli lämmöneristeen päällä olevan puusoiron kohdalta. Lämpövirta on kuitenkin pienentynyt arvosta $32 - 33 \text{ W/m}^2$ arvoon $22 - 23 \text{ W/m}^2$.



Kuva 35. Yläpohjaliittymän lämpövirrat ulkoa päin katsottuna, kun lämmöneristeen paksuus on 180 mm.

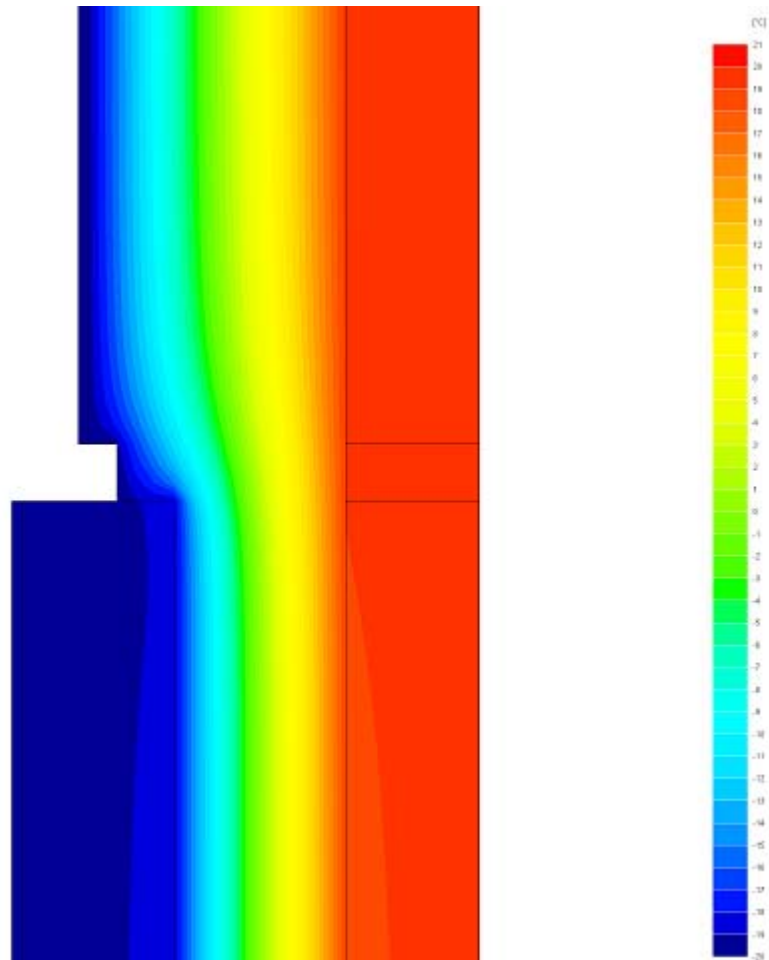
4.2.3 Seinän alaosan ja yläosan liitos (ohutrappaus)

Seinän alaosan ja yläosan liitoksessa on käytännössä kaksi erilaista toteutustapaa riippuen valituista lämmöneristepaksuuksista. Toisessa liitokseen muodostuu pykälä ja toisessa liitos on samantyylinen kuin vanhan rakenteen liitoskin ilman pykälää.

Jos seinän paksuutta ei haluta kasvattaa yläosassa vanhan seinärakenteen paksuuden yli, niin yläosassa on käytettävä 135 mm paksua lämmöneristettä. Seinän alaosan paksuus kasvaa kuitenkin vaikka käytetäänkin vanhan lämmöneristeen paksuista uutta lämmöneristettä, koska uutta betonista ulkokuorta ei voida tehdä yhtä ohuena kuin vanha ulkokuori on säilyvyyden varmistamiseksi. Rakenteeseen muodostuu tällöin pieni pykälä, johon joudutaan laittamaan vesipelti.

Ensimmäisenä on vaihtoehto (liite 3, sivu 1), jossa on liitoksen yläpuolisessa seinärakenteessa 135 mm paksu lämmöneriste ja alaosassa 90 mm paksu

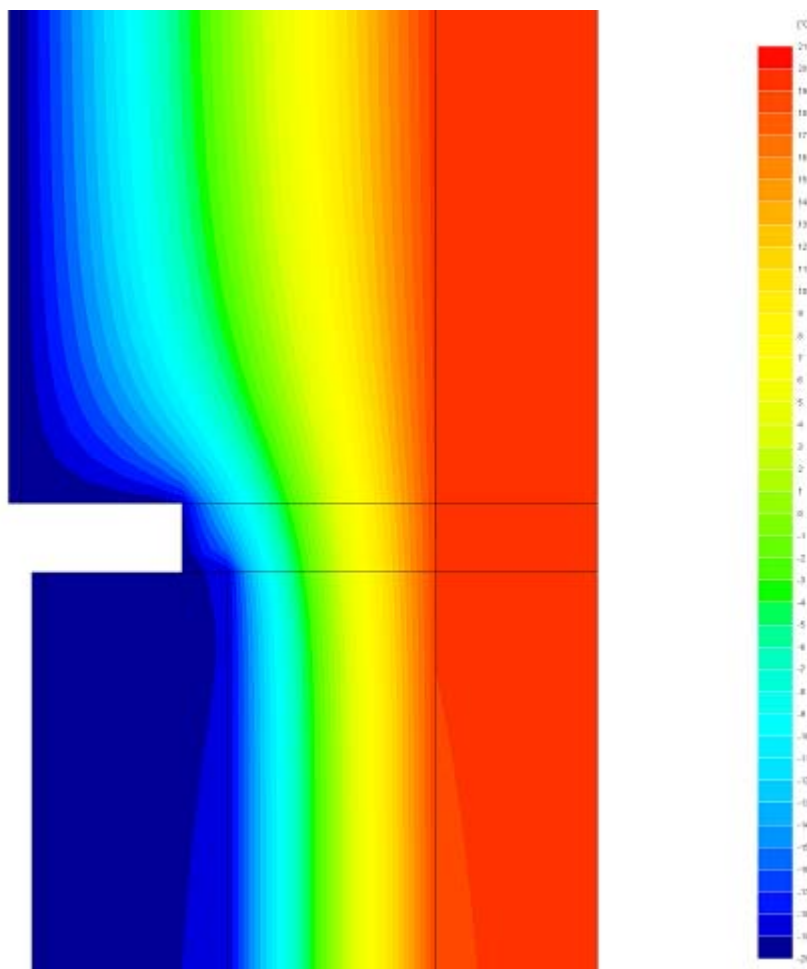
lämmöneriste. Lämmöneristeiden lämmönjohtavuus on 0,031 W/mK. Sisäpuolen lämpötila on + 21 °C ja ulkopuolen – 20 °C. Rakenteeseen täytyy laittaa siihen muodostuneen pykälän päälle vesipelti suojaamaan rakennetta ja ohjaamaan yläosan seinältä valuva vesi pois.



Kuva 36. Seinän alaosan liitoksen lämpötilajakauma, kun lämmöneristeiden paksuus yläosassa on 135 mm ja alaosassa 90 mm.

Kuvassa 36 on lämpötilajakauma seinän alaosan liitoksessa, kun liitos on toteutettu erittäin hyvin, eikä siinä ole ilmarakoja. Yläosan seinä on huomattavasti lämpimämpi kuin alaosan, koska yläosassa lämmöneriste on lähes seinän ulkopintaan asti. Alaosassa taas on betoninen ulkokuori, joka on lähes kokonaan ulkolämpötilaa vastaavassa lämpötilassa. Tästä johtuen betonisen ulkokuoren tuleekin kestää hyvin pakkasen vaikutusta rakenteeseen.

Toisena on vaihtoehto (liite 3, sivu 2), jossa on yläpuolisessa seinän osassa 180 mm lämmöneristettä ja alaosassa on 90 mm lämmöneristettä. Rakenne muistuttaa vanhaa rakennetta arkkitehtonisesti, koska siinä ei muodostu pykälää seinien liittymän kohdalle.

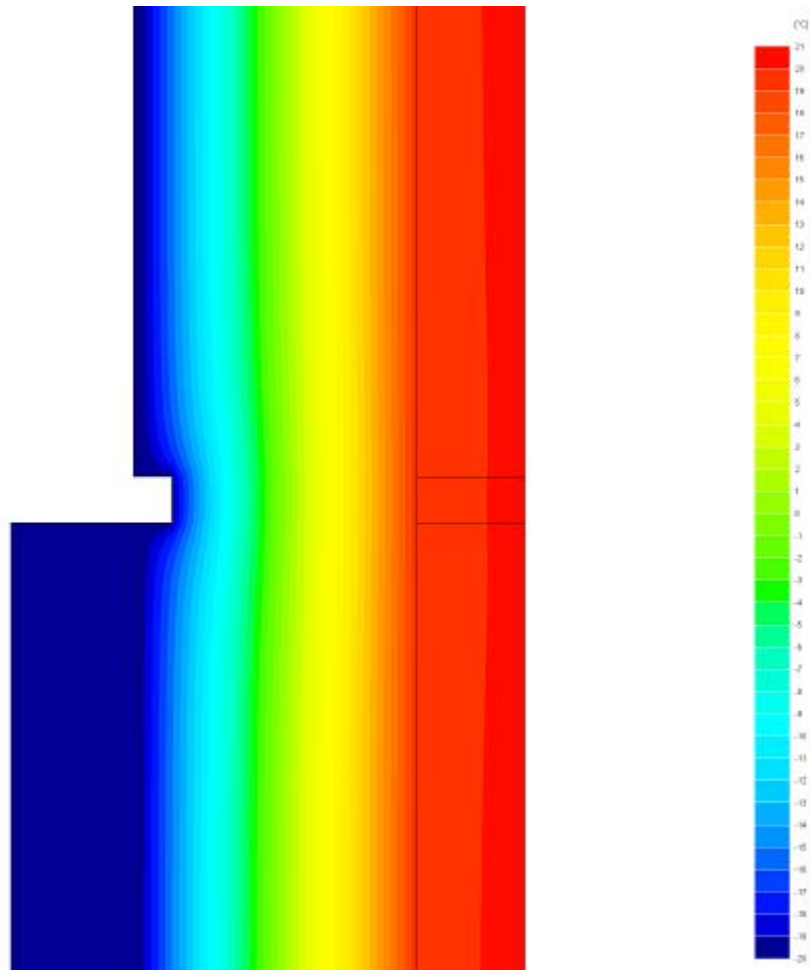


Kuva 37. Lämpötilajakauma seinän alaosan liitoksessa, kun yläosassa 180 mm lämmöneristettä ja alaosassa 90 mm lämmöneristettä.

Kuvassa 37 on lämpötilajakauma seinän alaosan liitoksessa, kun yläosassa on 180 mm lämmöneristettä ja alaosassa on 90 mm lämmöneristettä. Lämmöneristeiden lämmönjohtavuus on $0,031 \text{ W/mK}$. Lämpötilan nollaraja kulkee lämmöneristeiden puolella välissä.

Seinän alaosan lämpötilat ovat samassa kohdassa kuin ensimmäisessäkin vaihtoehdossa, koska lämmöneristeen paksuus on sama. Yläosassa lämpötilan nollaraja siirtyy lähemmäs rakenteen ulkopintaa paksumman lämmöneristeen johdosta.

Kolmantena on vaihtoehto (liite 3, sivu 3), jossa on sekä yläosan että alaosan seinärakenteessa 180 mm paksu lämmöneriste. Rakenteeseen muodostuu tällöin alaosan seinän uuden betonisen ulkokuoren (80 mm) levyinen pykälä, jonka päälle pitää asentaa vesipelti.

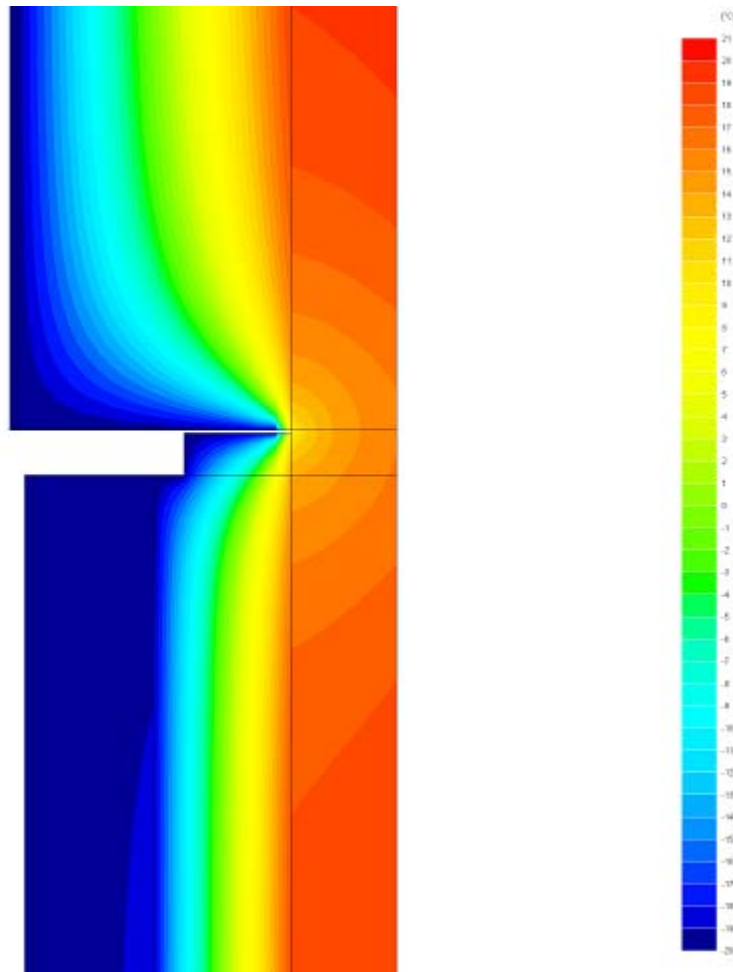


Kuva 38. Lämpötilajakauma seinän alaosan liitoksessa, kun lämmöneristeen paksuus on ylä- ja alaosassa 180 mm.

Kuvassa 38 on seinän alaosan liitoksen lämpötilajakauma, kun sekä alapuolen että yläpuolen seinässä on 180 mm paksu lämmöneriste. Lämmöneristeiden lämmönjohtavuus on $0,031 \text{ W/mK}$. Tällöin lämpötilan 0 °C :n raja kulkee seinien liitoksen läpi samassa linjassa ja betoninen sisäkuori on yhtä lämmin joka kohdasta.

Edellä olevien seinän alaosien liitosten lämpötilajakaumissa täytyy huomioi-da se, että liitokset on toteutettu mallinnuksessa erittäin hyvin, eikä siihen ole muodostunut lämmöneristeen epätiivelyskohtia ja ilmarakoja, joita saat-taa muodostua asentamisen aikana.

Kuvasta 39 nähdäänkin huolimattoman liitoksen teon vaikutus rakenteen lämpötilajakaumaan. Kuvassa on yläosassa 180 mm paksu lämmöneriste ja alaosassa on 90 mm paksu lämmöneriste. Liitokseen on muodostunut huo-limattomasta asennuksesta 2 mm:n ilmarako ja liitoksen kohdalla oleva vi-noon leikattu EPS-kaista on tehty liian pieneksi lämmöneristeisiin nähden.



**Kuva 39. Seinän alaosan liitos, kun yläosassa on 180 mm paksu lämmöneriste ja ala-
osassa 90 mm paksu lämmöneriste. Liitoksen lämmöneristeiden liittymäkohta on toteu-
tettu huolimattomasti.**

Kuvasta nähdäänkin, kuinka seinän betonisten sisäkuorien sauman kohdalla lämpötila on noin 5 °C alhaisempi kuin muualla sisäseinässä. Liitoksen saumassa on osittain seisovaa ilmaa tiivistemassan takana, joka hieman vähentää liitoksen läpi menevää lämpömäärää. Sisältä mahdollisesti seinärakenteen lävitse pääsevä kosteus pääsee kondensoitumaan lämmöneristeiden väliin jääneeseen ilmarakoon siellä olevan alhaisen lämpötilan johdosta.

4.3 Paloturvallisuus

Yläpohjaliitoksessa tuuletusrako täytyy sulkea ylimmän kerrosten ikkunoiden kohdalta ja metrin niiden pielistä sivulle päin. /9, s.17/. Tuuletuksen riittävyys yläpohjassa tulee tuuletusrakojen sulkemisen johdosta tutkia erikseen ta-pauskohtaisesti. Yläpohjan tuulettamista voidaan parantaa esimerkiksi ali-painetuulettimien avulla.

Jos tuuletusraon säilyttäminen on yläpohjan riittävän tuulettumisen kannalta välttämätöntä, niin yhtenä vaihtoehtona on asentaa vanhojen kattorakenteiden alapintaan palamaton rakennuslevy katon suuntaisesti, jolloin yläpohjaan mahdollisesti pääsevät lieskat eivät pysty sytyttämään puurakenteisia kattorakenteita. Tästä on esimerkkiperiaatedetalji liitteessä 2 sivulla 4. Vanhassa yläpohjarakenteessa mahdollisesti olevat palo-osastoinnit tulee säilyttää vaikka rakenteita hieman muutettaisiinkin.

Seinässä olevat Platina-, EPS- tai PIR-lämmöneristeet ovat vaikeasti syttyvää laatua, jolloin ne sammuvat itsekseen, kun lämmönlähde loittonee palavasta kohdasta. Lämmöneristeen yläpäässä on lämmöneristeen levyinen puusoiro, joka estää tulen leviämisen suoraan yläpohjaan. Seinässä olevan lämmöneristeen väliin ei tarvitse asentaa palokatkoja mineraalivillasta, kun kyseessä on enintään nelikerroksinen asuinrakennus /9, s.20/.

5 LEIKKAUS PITKÄN JULKISIVUN SEINÄRAKENTEESTA

Liitteessä 4 on esitetty pitkän julkisivun seinärakenteen leikkaus, joka on muodostettu periaatedetaljien pohjalta. Leikkauksessa on esitetty seinän alaosan liitos, kun alaosassa on betoninen ulkokuori ja seinän yläosassa ohutrappausrakenne, ikkunaliitos ja seinän ja yläpohjan liittyminen toisiinsa. Leikkauksessa lämmöneristeen paksuus on 180 mm.

6 YHTEENVETO

Insinööriyössä tutkittiin vanhan olemassa olevan rakennuksen julkisivukorjauksen yhteydessä parannettavan lämmöneristetyksen vaikutusta rakenteiden toimintaan. Tutkimus suoritettiin suunnittelemalla ensin periaatedetaljit rakenteiden liittymäkohdista, jonka jälkeen voitiin mallintaa tietokoneohjelmistolla liittymäkohtien periaatedetaljien mallit. Näistä malleista saatiin ra-

kenteen lämpötilajakaumat ja lämpövirrat. Niiden perusteella voitiin tehdä johtopäätöksiä rakenteiden rakennusfysikaalisesta toiminnasta.

Insinööriyön tuloksena saatiin suunniteltua kolmesta uutta rakennetyypiä, jotka eroavat toisistaan lämmöneristepaksuuksiltaan ja julkisivumateriaaliltaan. Neljä pitkän julkisivun ylempien kerrosten seinistä, viisi alimman kerroksen elementtien kohdalta ja neljä päädyn ylempien kerrosten seinistä. Rakennetyyppien suunnittelussa käytettiin lämmöneritysmateriaalina Platinasta, EPS:stä tai PIR:istä valmistettuja lämmöneristeitä. Platinalla tarkoitetaan samanlaista lämmöneristeluokitusta kuin esimerkiksi EPS on.

Rakennetyypeille laskettiin lämmönläpäisykertoimet, joiden perusteella voidaan valita energiataloudellisesti kannattavin tapa korjata seinän lämmöneristys julkisivun korjauksen yhteydessä. Kun valitaan pitkien julkisivujen rakennetyyppejä, niin päädyissä on suositeltavaa valita rakennetyyppi, jossa on yhtä paksu lämmöneriste kuin pitkille julkisivuille on valittu, jotta rakennuksen nurkissa ei tule ongelmia lämmöneristysten asentamisen yhteydessä.

Lisäksi työssä saatiin suunniteltua rakenteiden liittymäkohdista kahdeksan periaatedetaljia: kaksi ikkunaliittymän kohdalta, kolme seinän ja yläpohjan liittymän kohdalta sekä kolme alimman kerroksen seinän elementin ja seinän ylemmän osan liitoksen kohdalta, kun ylemmässä osassa on ohutrappaus. Periaatedetaljien pohjalta muodostettiin lisäksi seinärakenteen leikkaus, jossa periaatedetaljit on yhdistetty yhdeksi kokonaisuudeksi.

Osasta näistä detaljeista muodostettiin lämpötilajakaumat Physibelin Trisco -ohjelmiston avulla, joista nähdään rakenteiden sisällä vallitsevat lämpötilat. Lisäksi samalla ohjelmistolla saatiin muodostettua detaljien lämpövirtojen kuvat. Niistä pystyttiin päättämään esimerkiksi detaljien kylmimmät kohdat, joiden huolelliseen toteuttamiseen on syytä panostaa. Näitä työssä havaittuja kylmimpiä kohtia olivat:

- ikkunarakenteissa ikkunan karmirakenteen liitos seinärakenteeseen
- yläpohjarakenteissa seinän lämmöneristeen päällä olevan puusoiron vaikutus

- seinän alaosan liitoksessa seinässä olevien lämmöneristeiden liittyminen toisiinsa oikealla tavalla.

Vertailemalla periaatedetaljeja ja rakennetyyppejä keskenään voidaan kustannusselvitysten jälkeen valita arkkitehtonisesti ja energiataloudellisesti kannattavin tapa uudistaa korjauskohteena olevan rakennuksen lämmöneristys julkisivujen korjauksen yhteydessä.

Insinööriyön tuloksilla saatiin varmuus rakenteiden toiminnasta, kun käytetään paksumpia lämmöneristeitä. Lisäksi muodostettuja periaatedetaljeja voidaan käyttää apuna suunniteltaessa saman aikakauden rakennusten julkisivujen korjausta. Tuloksien avulla voidaan korjauksen suunnittelussa kiinnittää huomiota erityishuomiota vaativiin kohtiin, jotta ne voidaan toteuttaa entistä paremmin ja rakennuksessa asuvien ihmisten asumisviihtyvyys paranee.

Jos rakennuksen seinien lämmöneristävyttä parannetaan vähintään nykyisten lämmöneristysmääräysten tasolle, niin samassa yhteydessä on kannattavaa parantaa ikkunoiden lämmöneristystä vähintään nykyisten vaatimusten tasolle. Paremmalla lämmöneristyksellä saavutettujen sisäpintojen korkeampien lämpötilojen miellyttävää vaikutusta voidaan lisätä uusimalla ikkunat nykymääräyksiä paremmiksi, jolloin myös ikkunarakenteiden kohdalla sisäpintojen lämpötila nousee korkeammaksi pienentyneen lämpövirran vaikutuksen ansiosta.

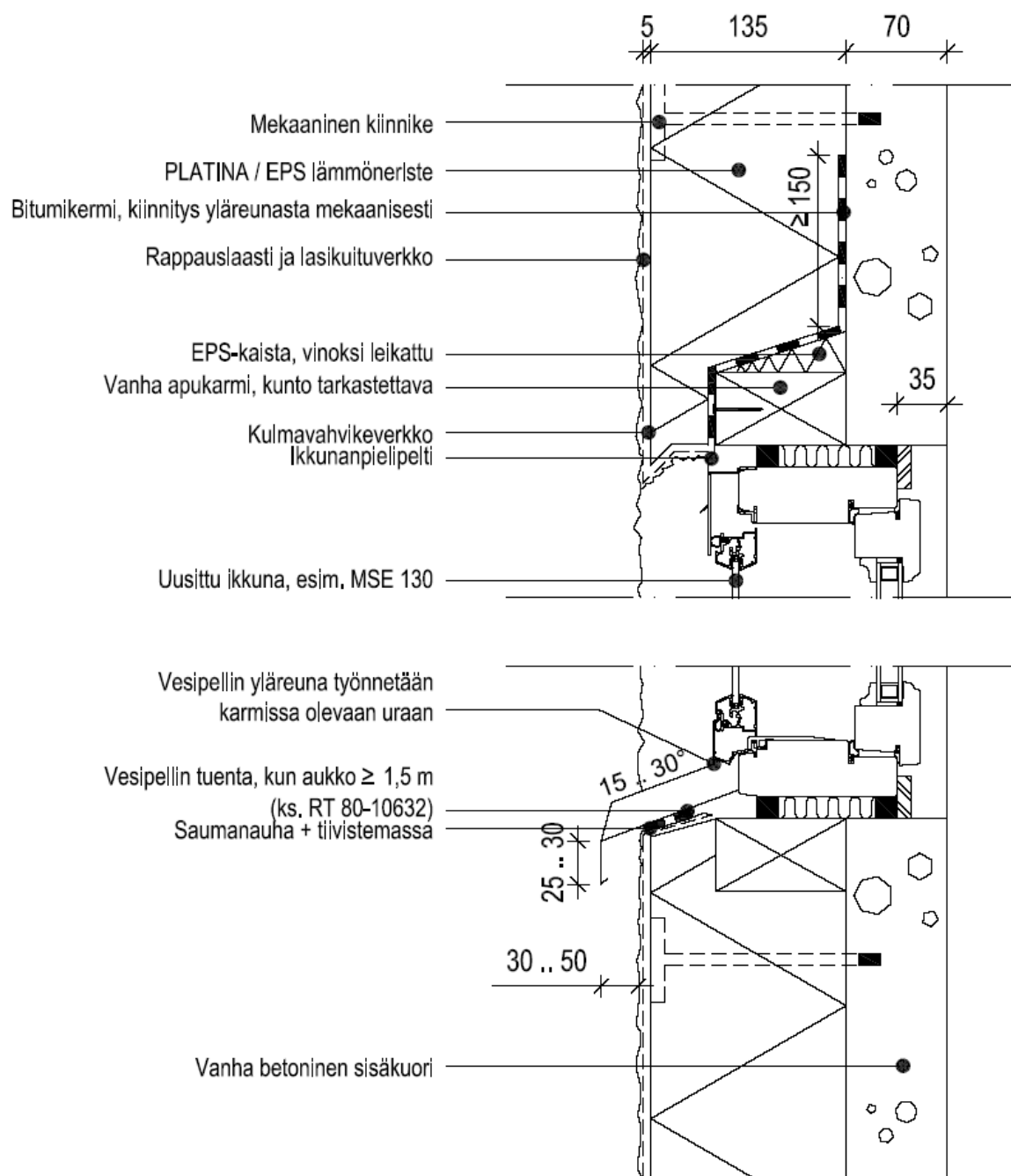
Aikaiseksi saatuja tuloksia voidaan periaatteessa soveltaa myös muihin samantyyppisiin lämmöneristysmateriaaleihin, kuin tutkittavat materiaalit olivat, sillä lämpötilajakaumat rakenteissa pysyvät suunnilleen samoissa kohdissa, kun käytetään yhtä paksuja lämmöneristeitä. Samoin tuloksia voidaan hyödyntää myös muissakin rakennuksissa kuin insinööriyössä tutkitussa asuin-kerrostalossa, jos niissä on samantapaiset rakenteet kuin tutkitulla asuin-kerrostalolla.

Lämmöneristepaksuuksia voidaan myös kasvattaa tutkittuja lämmöneristepaksuuksia paksummaksi tutkittujen detaljien ja niistä tehtyjen johtopäätösten perusteella lähes riskittä, sillä insinööriyössä ei havaittu lämmöneristyspaksuuden kasvattamisen aiheuttavan rakenteiden toiminnalle rakennusfysikaalisia riskejä.

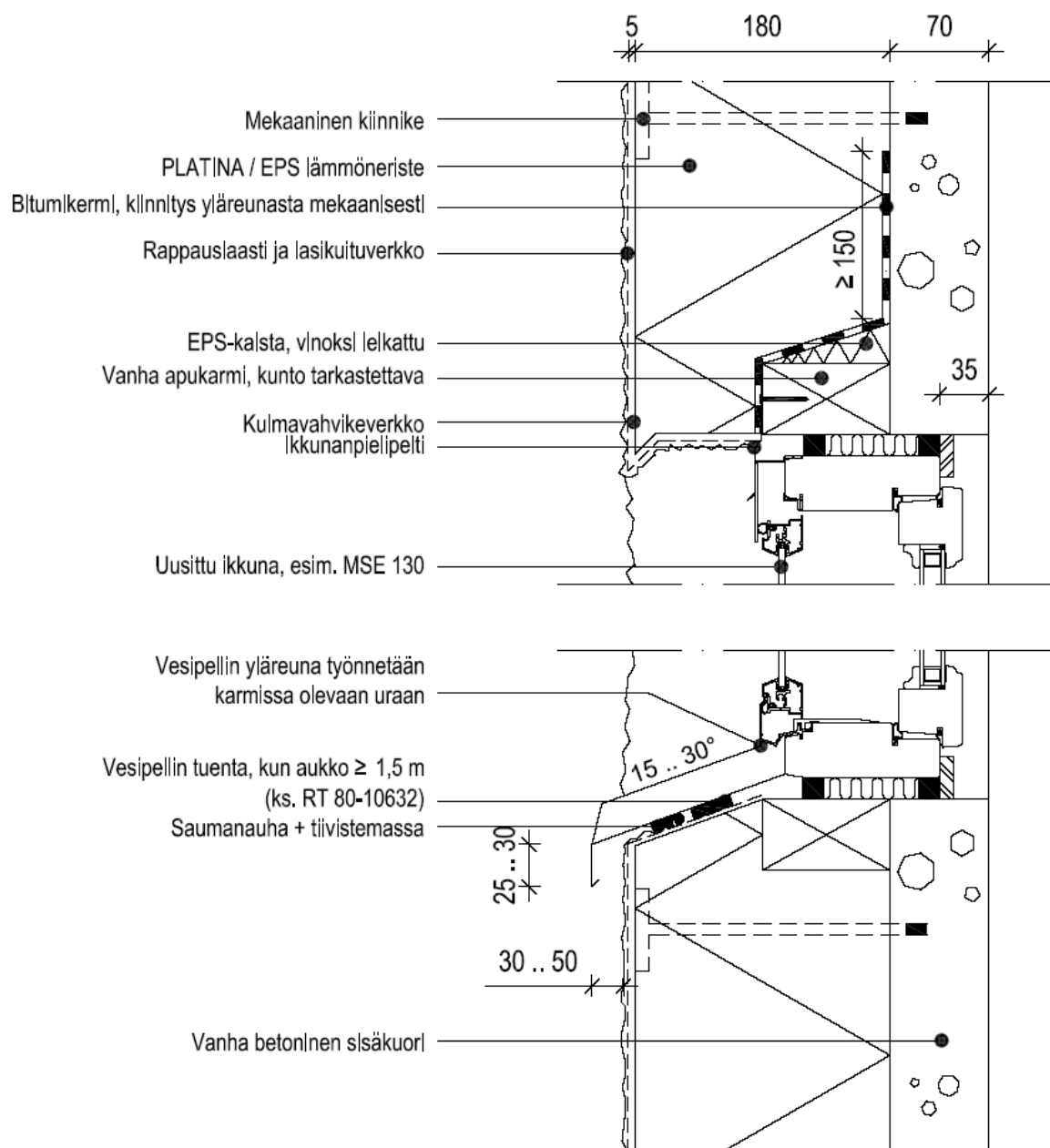
VIITELUETTELO

- [1] Siikanen Unto, *Rakennusfysiikka*, Rakennustieto Oy, Helsinki, 1996.
- [2] *RT 05-10710, Kosteus rakennuksissa*, Rakennustieto Oy, Helsinki 1999.
- [3] Björkholtz Dick, *Lämpö ja kosteus, rakennusfysiikka*, Rakennustieto Oy, Helsinki, 1997
- [4] *C4 Suomen rakentamismääräyskokoelma, Lämmöneristys, ohjeet*, 2003, Ympäristöministeriö, Helsinki 2002
- [5] EPS-rakennuseristeteollisuus, <http://www.eps-eriste.fi>, päivitetty 2006, viitattu 5.3.2010.
- [6] Rakennuspolyuretaaniteollisuus, <http://www.polyuretaani.com>, päivitetty 2007, viitattu 7.4.2010.
- [7] Formia Technology Group Oy, http://www.sintech.com/dynamic/1/view_attachment/Panel%20Products%20FI.pdf?id=399, päivitetty 2007, luettu 5.3.2010.
- [8] *RIL 107-2000, Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet*, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y., Helsinki, 2000.
- [9] *E1 Suomen rakentamismääräyskokoelma, Rakennusten paloturvallisuus, Määräykset ja ohjeet 2002*, Ympäristöministeriö, Helsinki 2002.
- [10] Sto Suomi, StoTherm Eristerappaus detaljit [verkkodokumentti], päivitetty 5/2009, saatavissa: http://www.stofi.fi/evo/web/sto/20290_FI-pdf-StoTherm_Detaljit.pdf, viitattu 23.4.2010.

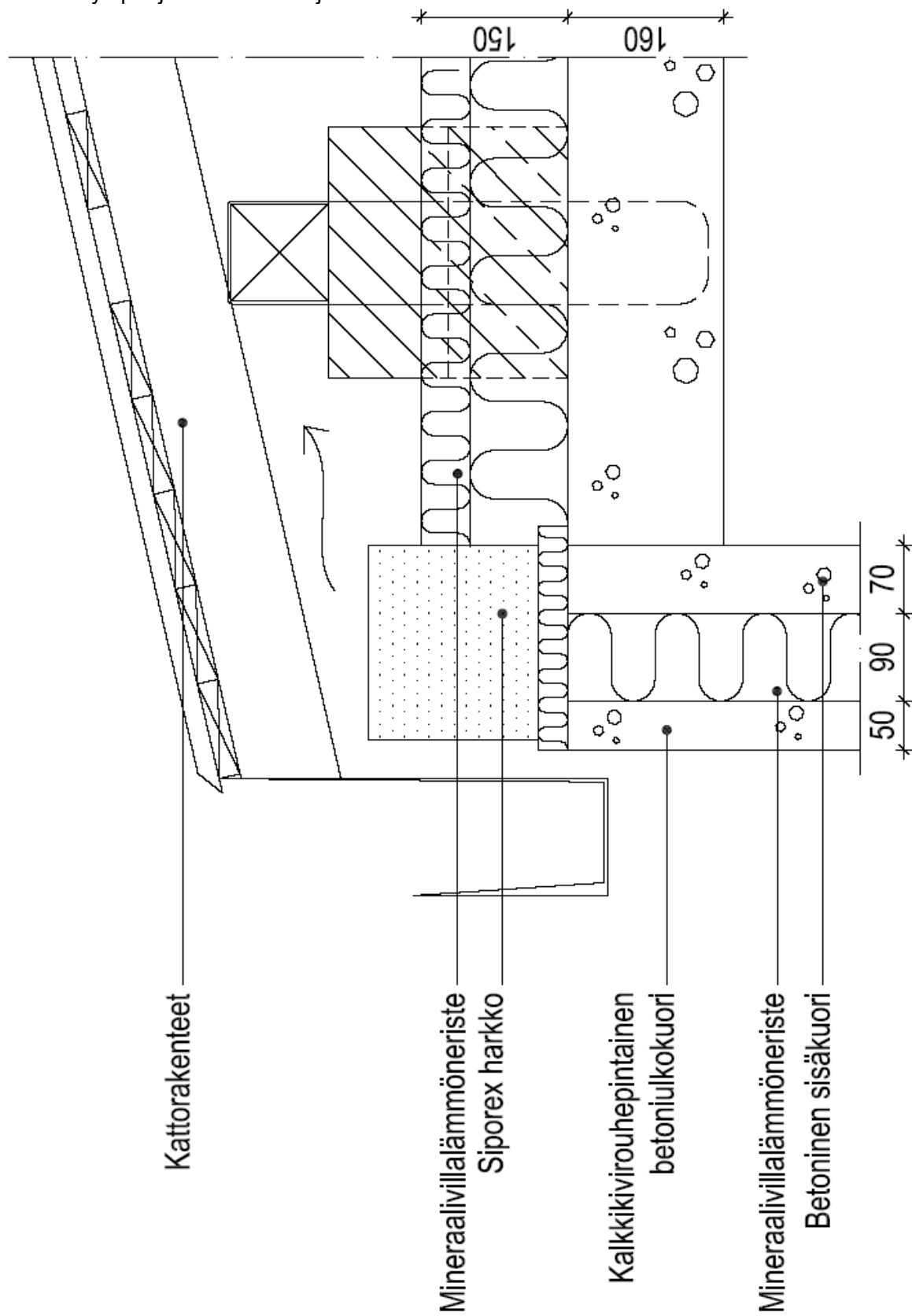
Ikkunaliitoksen periaatedetalji, kun lämmöneristeen paksuus on 135 mm.



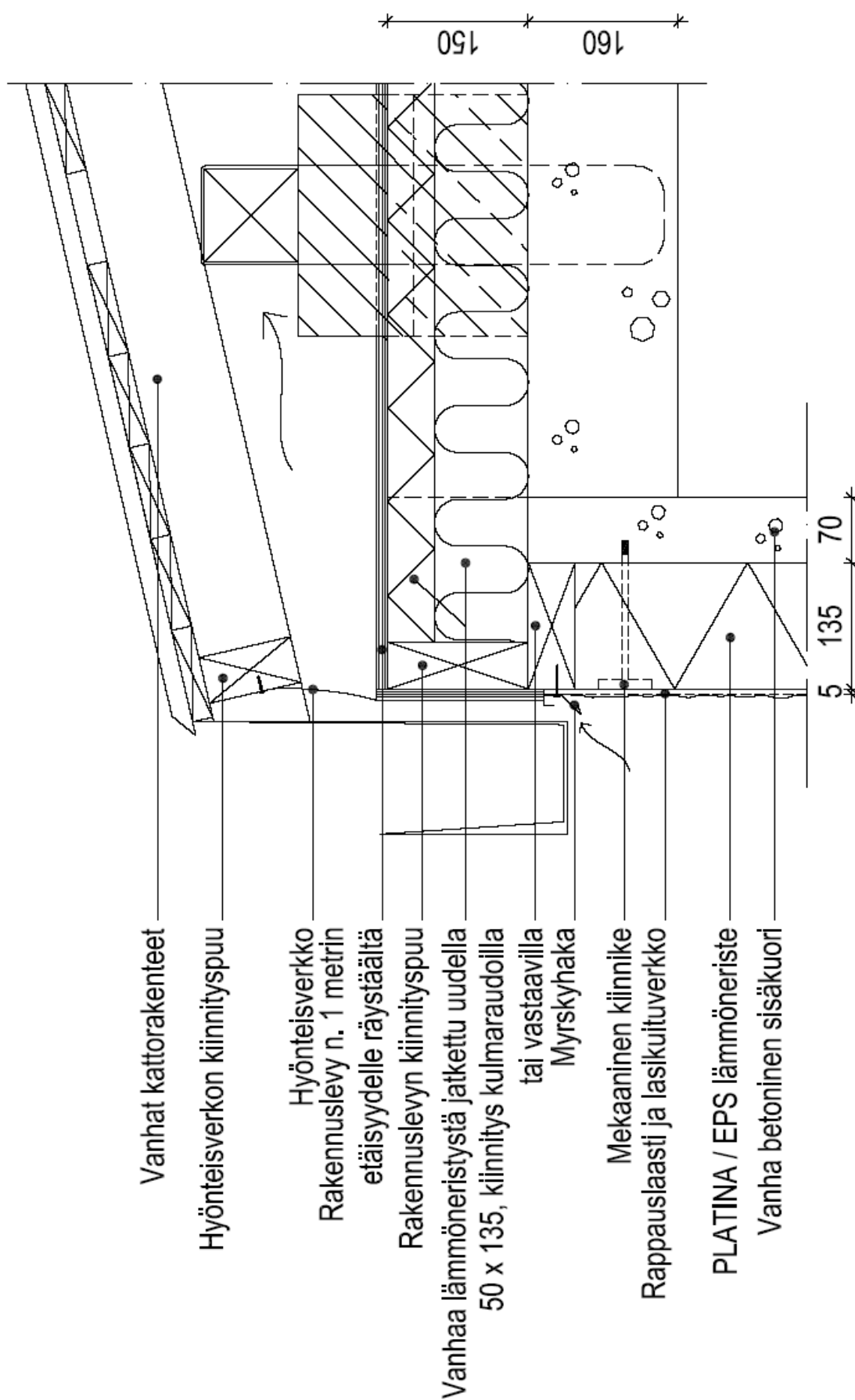
Ikkunaliitoksen periaatedetalji, kun lämmöneristeen paksuus on 180 mm.



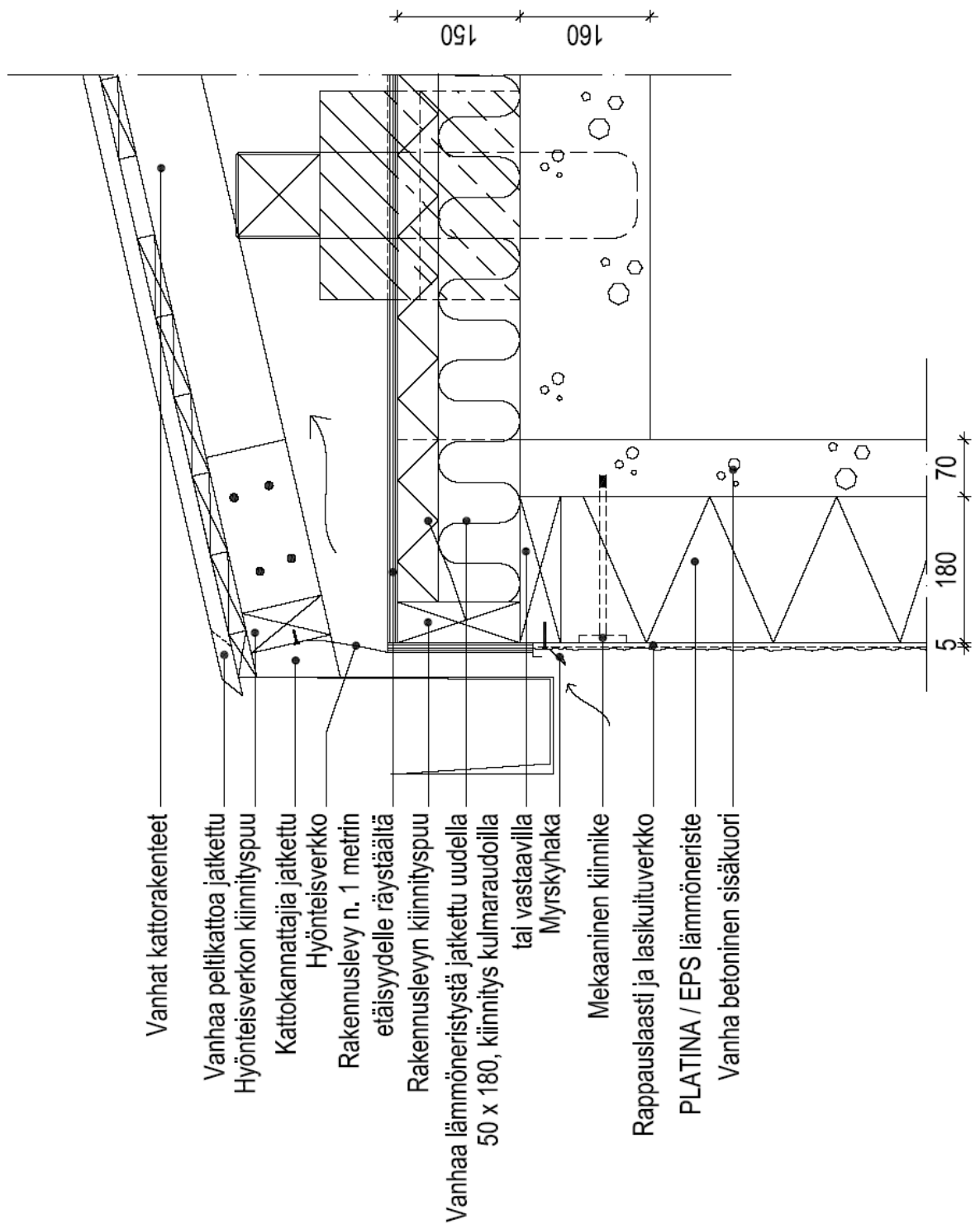
Vanhan yläpohjaliitoksen detaili.



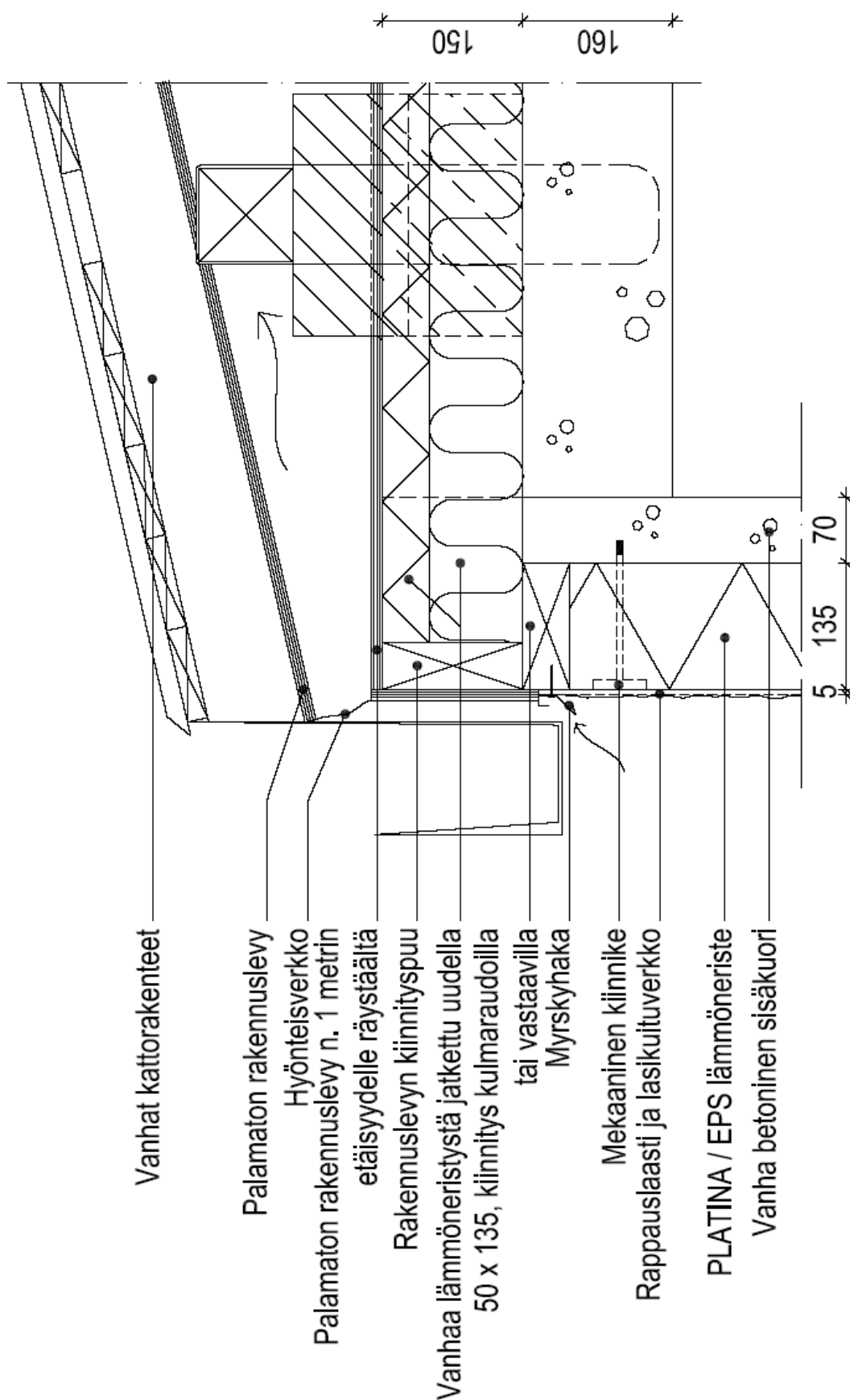
Seinärakenteen ja yläpohjan periaatedetalji, kun lämmöneristeen paksuus on 135 mm seinässä.



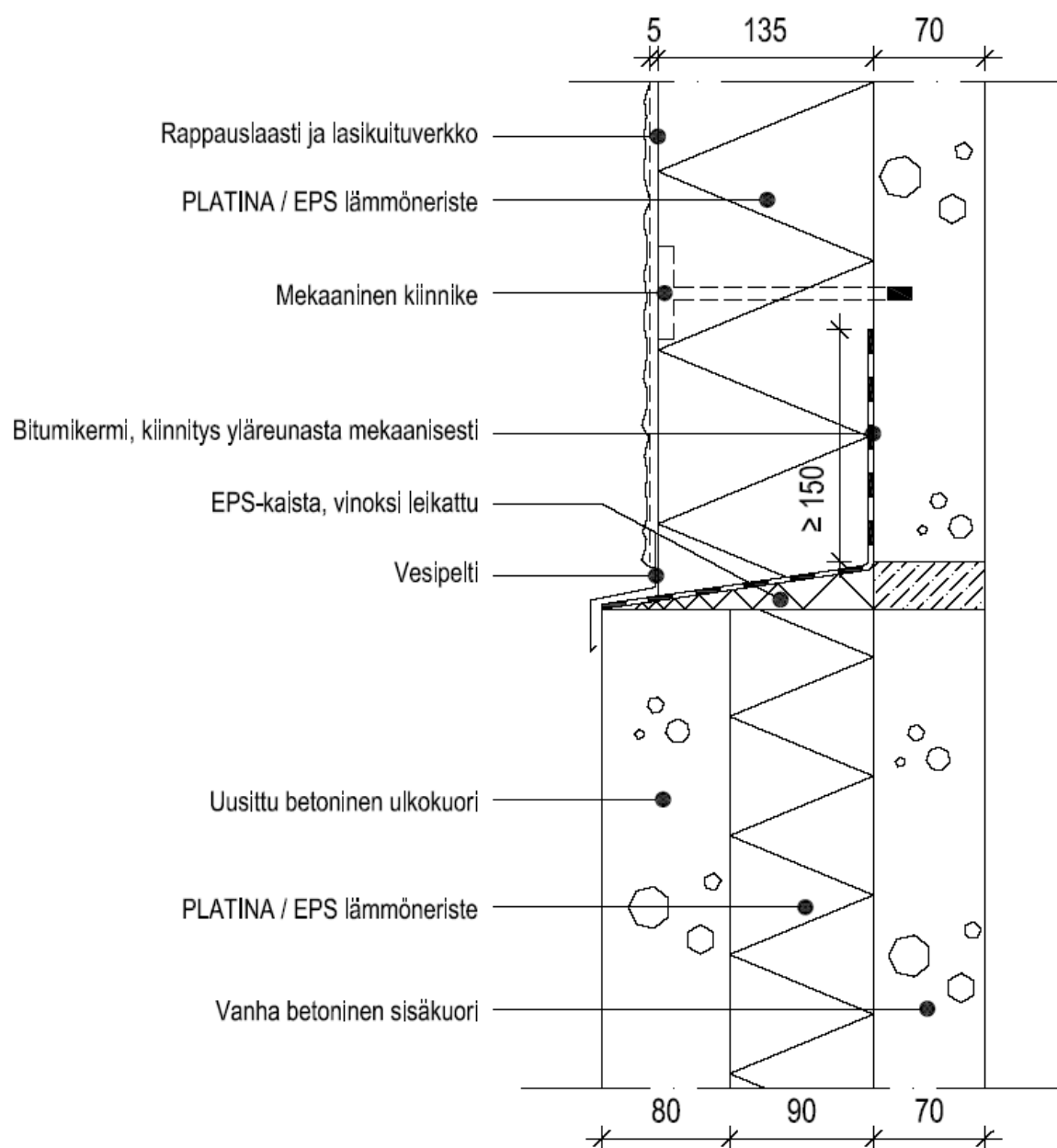
Seinärakenteen ja yläpohjan periaatedetalji, kun lämmöneristeen paksuus on 180 mm seinässä.



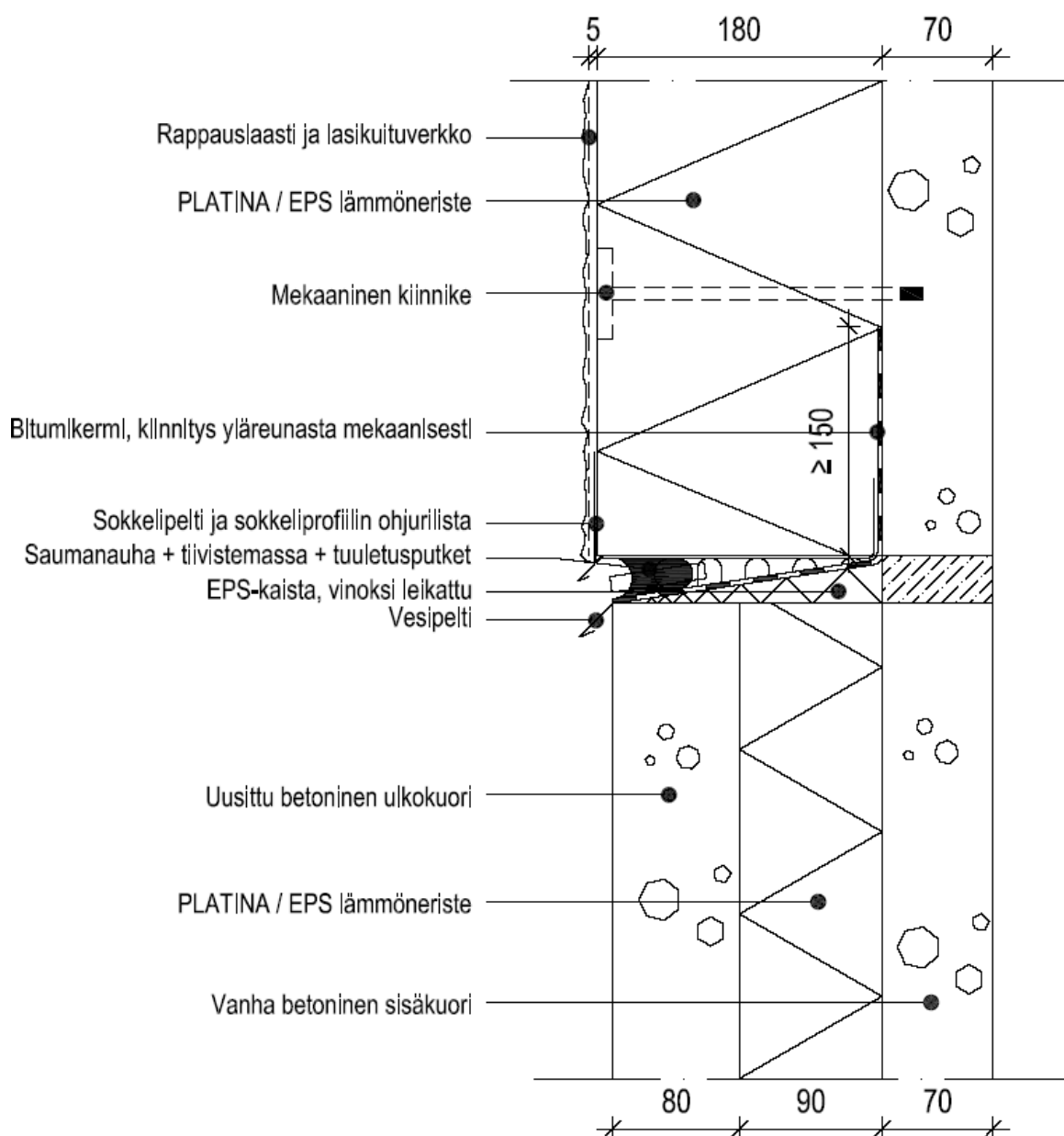
Periaatedetalji yläpohjan ja seinärakenteen liitoksesta, kun siihen on lisätty palamaton rakennuslevy vanhojen kattorakenteiden alapuolelle estämään tulipalon leviäminen yläpohjaan.



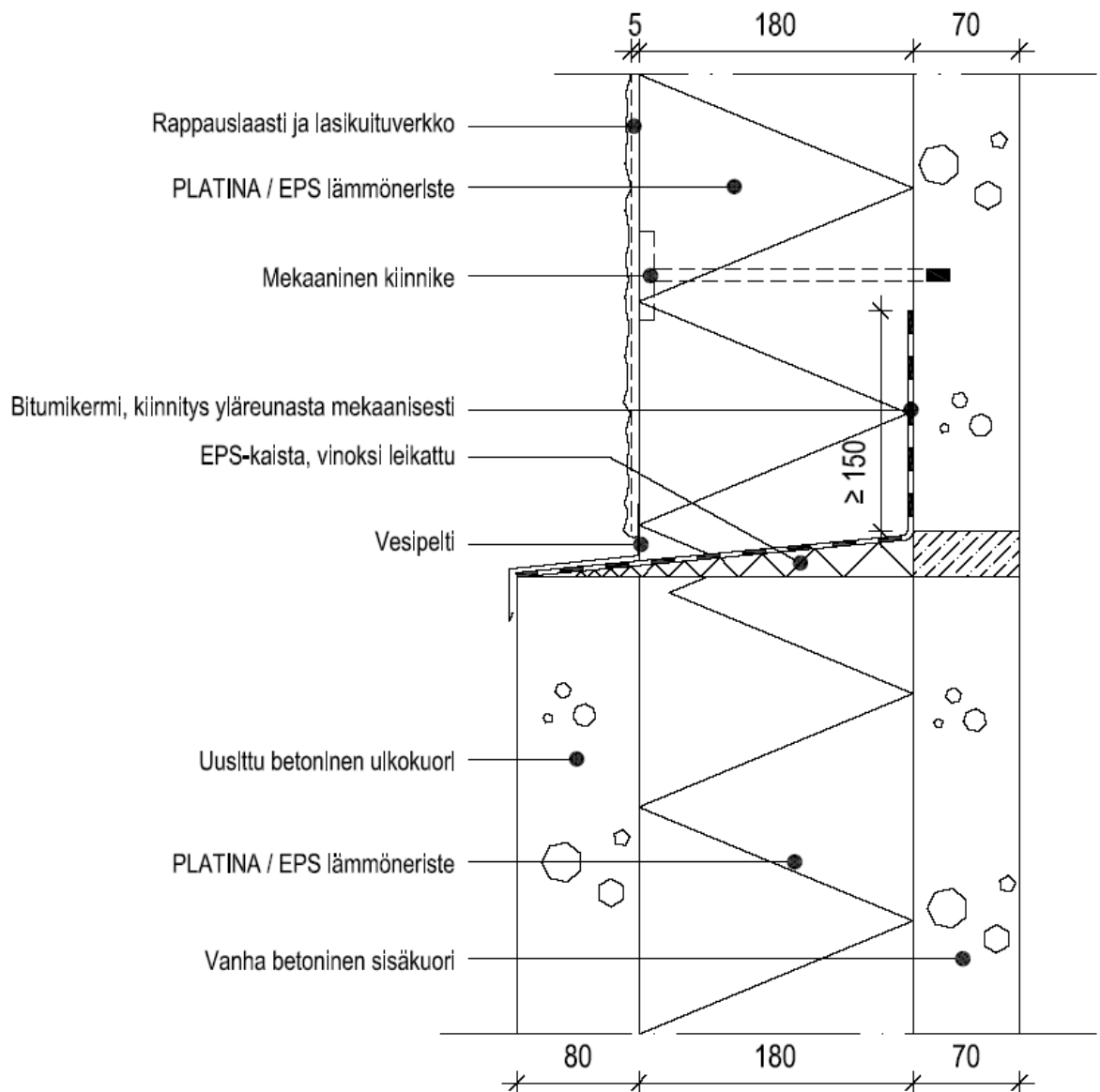
Seinän alaosan ja yläosan liitoksen periaatedetalji, kun yläosassa on 135 mm lämmöneristettä ja alaosassa on 90 mm lämmöneristettä. Yläosassa on ohutrappaus ja alaosassa betoninen ulkokuori.



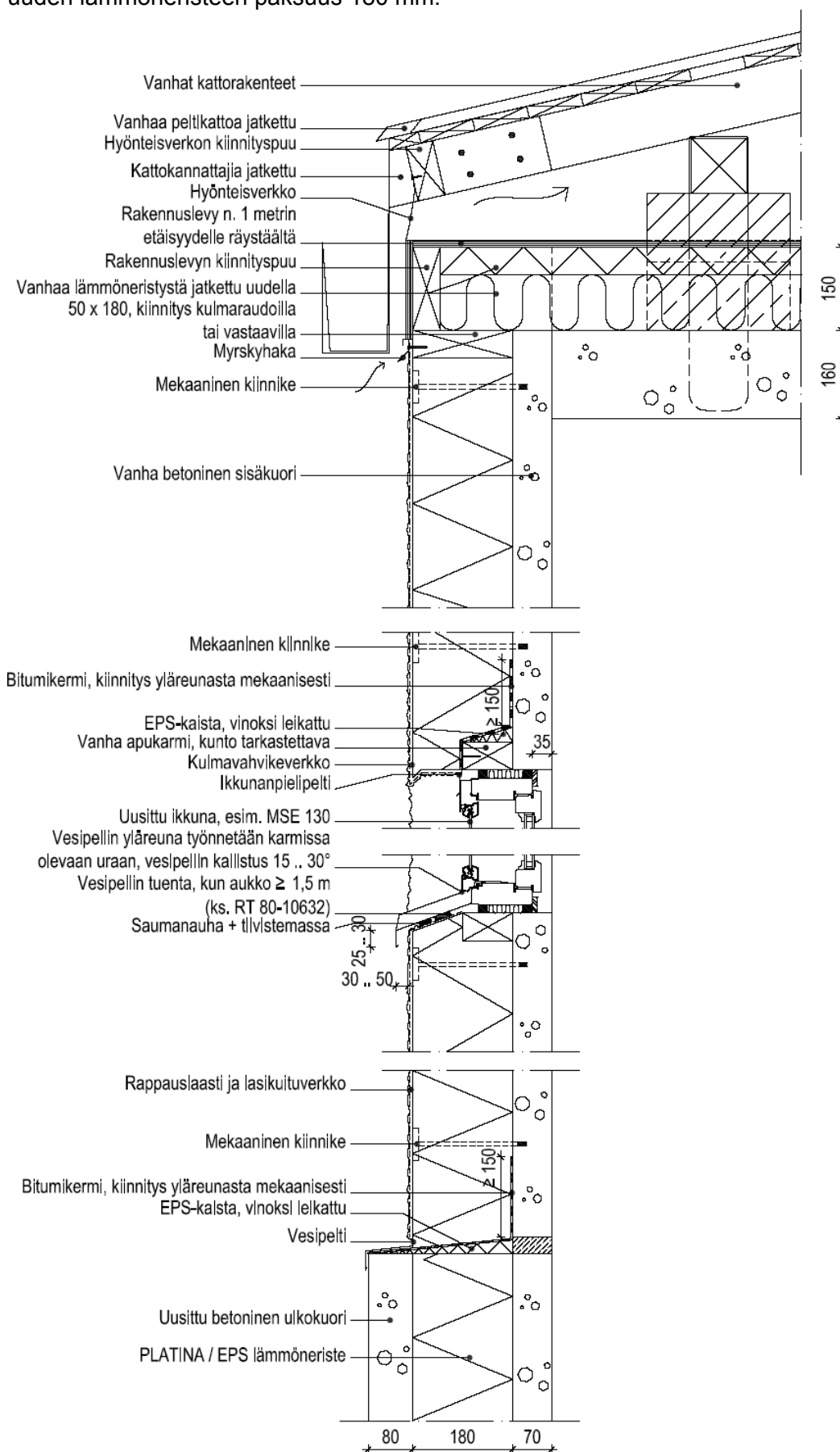
Seinän alaosan ja yläosan liitoksen periaatedetalji, kun yläosassa on 180 mm lämmöneristettä ja alaosassa on 90 mm lämmöneristettä. Yläosassa on ohutrappaus ja alaosassa betoninen ulkokuori.



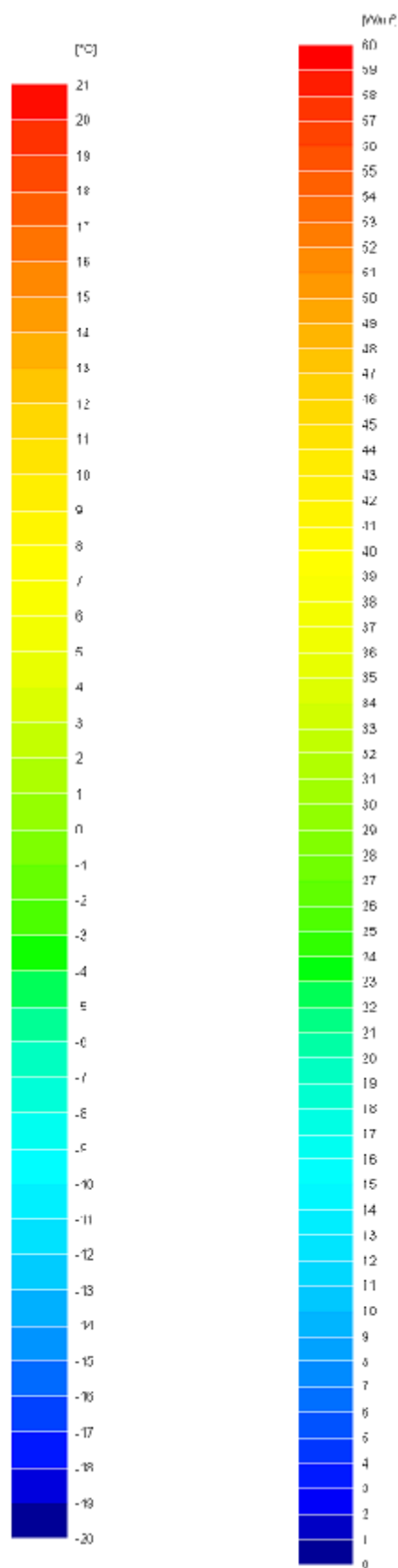
Seinän alaosan ja yläosan liitoksen periaatedetalji, kun yläosassa on 180 mm lämmöneristettä ja alaosassa on myös 180 mm lämmöneristettä. Yläosassa on ohutrappaus ja alaosassa betoninen ulkokuori.



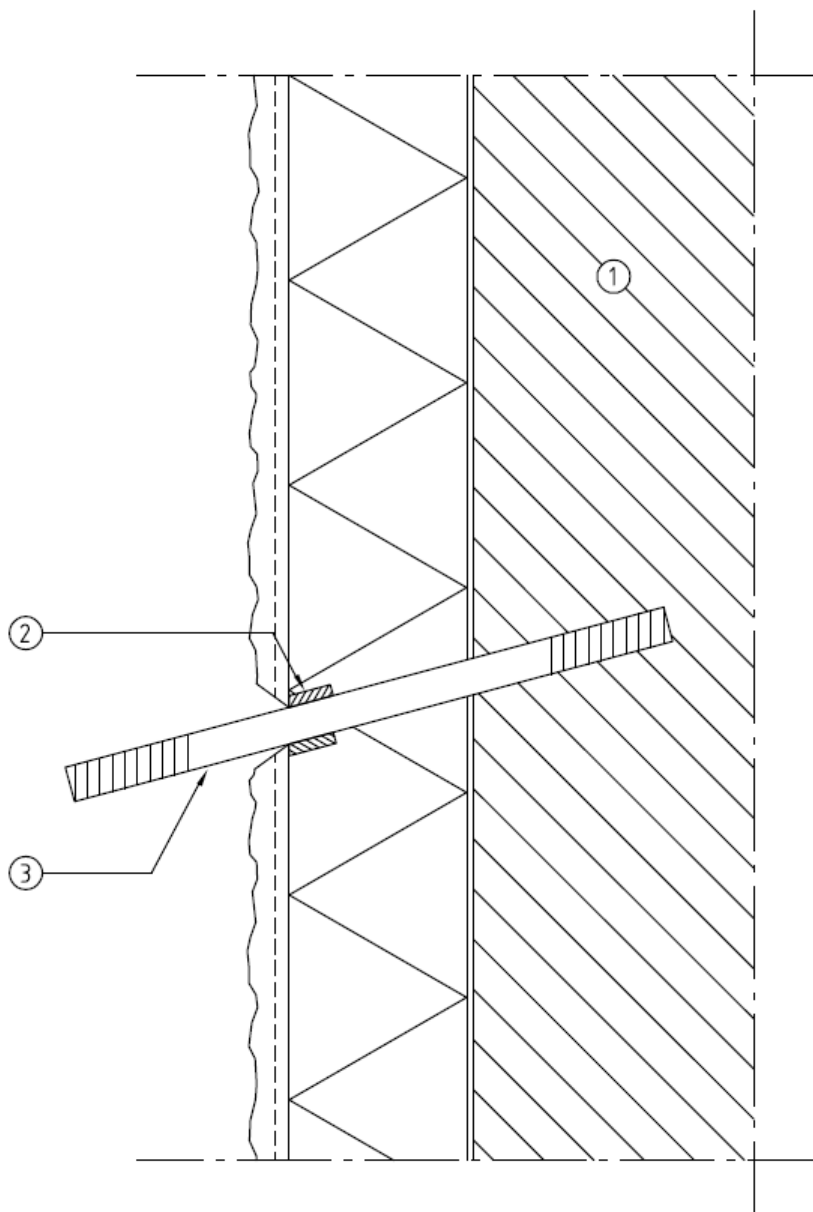
Detaljien perusteella muodostettu leikkaus pitkän julkisivun seinärakenteesta, jossa on uuden lämmöneristeen paksuus 180 mm.



Lämpötila-asteikko [$^{\circ}\text{C}$] (vas.) ja lämpövirtojen asteikko [W/m^2] (oik.).



Kiinnitysdetalji syöksytorven kiinnityksestä seinärakenteeseen. /10/.



1. Seinärakenne

2. Sääkestävä
tiivistyskittaus

3. Ruostumaton
kierretanko